

磁場と電場に関する空間の研究

学校名 熊本県立熊本北高等学校 学年 3年

班員氏名 山川広大 境紀行 高田真太郎

若宮久人 中原高志 岩崎勇輝

指導教諭 相原義治

I 研究の目的

磁場や電場に関して、教科書に記載されている写真は見たことがあるが、実際に観察したことのない実験を、本当に教科書どおりになるのか確かめてみることにした。磁場や電場という目に見えない空間を視覚化し、観察・実験をしてより深く探求することを目的とした。

II 電流と磁場に関する実験

(1) 目的

直線電流のまわりの磁場の強さと、距離や電流の大きさとの関係を見出す。

(2) 原理

地磁気の水平成分を H_0 、南北方向に水平に電流を流したときの方角磁針の振れ角を θ とすると、電流による磁場の強さ H は

$$H = H_0 \times \tan \theta$$

で与えられる。

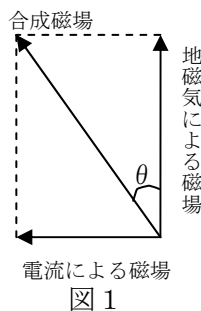


図 1

(3) 実験上の注意事項

ア 鉄など、磁気を帯びている物体のそばでの実験を避けた。

イ 導線は、磁針の真上に水平に南北方向に配置した。

ウ 導線の直線部分はできるだけ長くとした。

エ 磁針が傾くと磁極の導線からの距離が変わってくる。この影響を少なくするために、磁針と導線間の距離を比較的長くとした。

(4) 実験① 導線と方位磁針の間の距離と磁場の強さの関係

ア 実験方法

20A の直線電流を流し、導線と方位磁針の間の距離を変化させて角度 θ を読み取り、距離と $\tan \theta$ の値との関係を調べた。

イ 実験結果

図 2、図 3 のように、磁場の強さは距離に反比例することがわかった。表 1 はそのデータである。

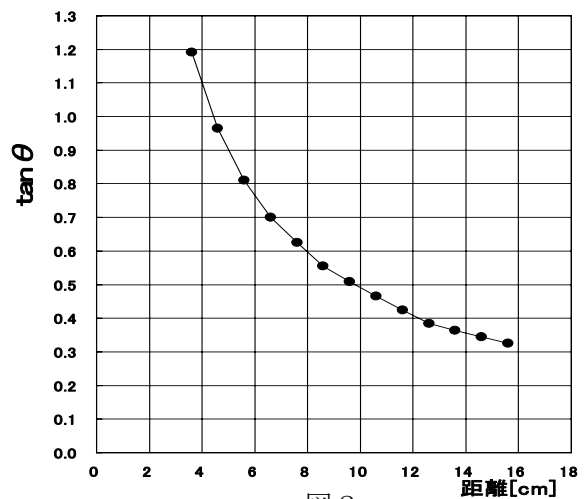


図 2

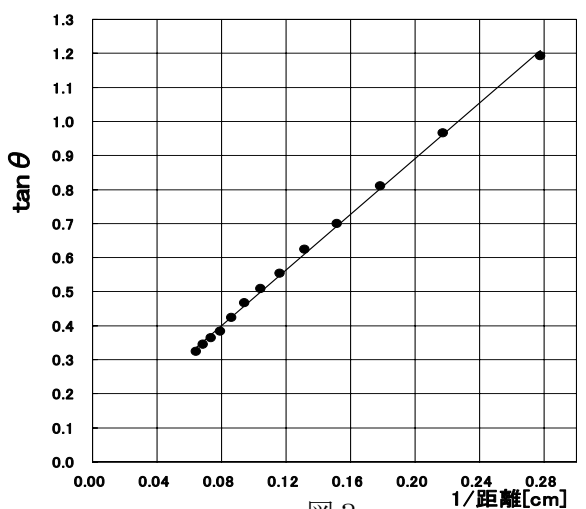


図 3

表1 距離と磁場の強さの関係 (電流 20A)

r [cm]	3.6	4.6	5.6	6.6	7.6
θ [°]	50	44	39	36	32
$\tan \theta$	1.19	0.97	0.81	0.73	0.63

8.6	9.6	10.6	11.6	12.6
29	27	25	23	21
0.55	0.51	0.47	0.43	0.38

(5) 実験② 電流と磁場の強さの関係

ア 実験方法

導線と方位磁針の間の距離を 10.6cm に固定して、電流を変化させたときの角度 θ を読み取り、電流と $\tan \theta$ の値との関係を調べた。

イ 実験結果

図4のように磁場の強さは電流の大きさに比例することがわかった。表2はそのデータである。

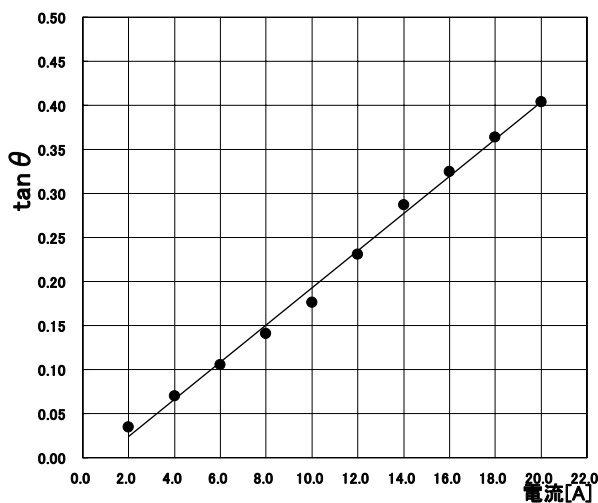


図4

表2 電流と磁場の強さの関係(距離 10.6cm)

I [A]	2.0	4.0	6.0	10.0	12.0
θ [°]	2	4	6	8	10
$\tan \theta$	0.04	0.07	0.11	0.14	0.18

14.0	16.0	18.0	20.0	22.0
13	16	18	20	22
0.23	0.29	0.32	0.36	0.40

(6) 電流と磁場についての考察

$H = H_0 \times \tan \theta = (\text{定数}) \times I / r$ となり、直線電流のつくる磁場の強さ H は、電流 I に比例し、距離 r に反比例することが確認できた。比例定数の導出は今後の課題である。

III 電場と電圧に関する実験

(1) 目的

導体紙に電圧をかけたときの電場の様子を、等電位面や電気力線を描いて調べる。

(2) 実験③ 通常の等電位面の描写

ア 実験方法

トレーシングペーパー、カーボン紙、導体紙を重ねて敷き、電極間に 14V の電圧をかけた。図5のように電圧計の負の入力端子をカーボン紙の負極に固定し、電圧計の正の端子につないだテスター棒を導体紙に接触させて、等電位の箇所を記録した。

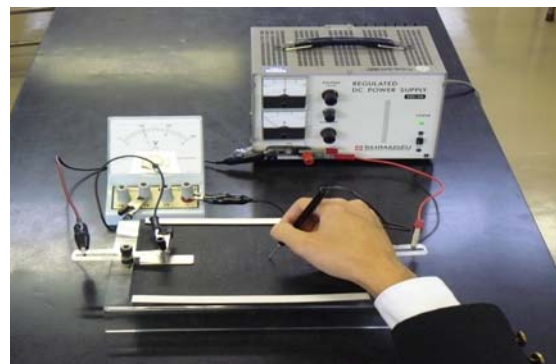


図5

イ 実験結果

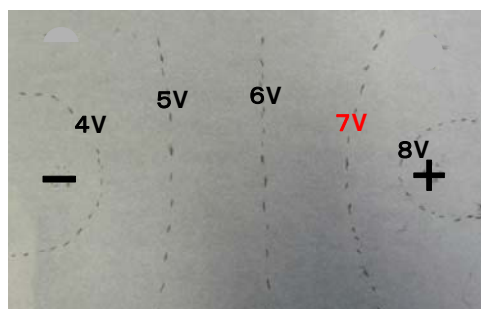
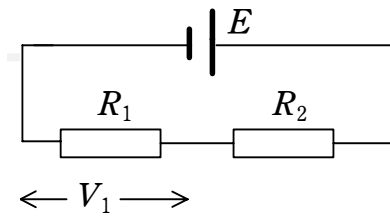


図6

図6のように、7Vの等電位面の位置が中央にこなかった。

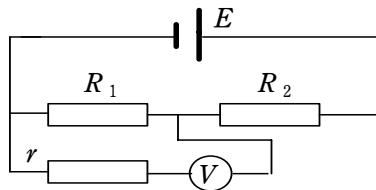
(3) 数式による原因の究明



この回路では、抵抗 R_1 の電圧は

$$V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} E$$

となるはずである。しかし、電圧計の内部抵抗 r を考慮すると



$$V_1 = \frac{E}{\frac{R_2}{r} + \frac{R_1 + R_2}{R_1}}$$

となり、 $r \gg R_2$ のときに電圧計は正確な値を示すことがわかる。

そこで、電圧計と導体紙の抵抗をホイートストンブリッジで測定してみたところ、導体紙が $2.07 \text{ k}\Omega$ に対して、電圧計の内部抵抗が $15.3 \text{ k}\Omega$ となった。このことが、先の実験結果の原因と考えられる。



(4) 実験⑤ ブリッジ回路による工夫
ア 実験方法

図10、図11のように、メートルブリッジ(抵抗線)と検流計を用いてブリッジ回路を組み、導体紙上の等電位面の記録を行った。

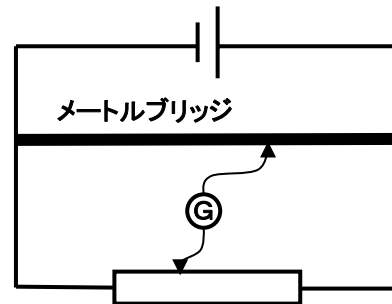
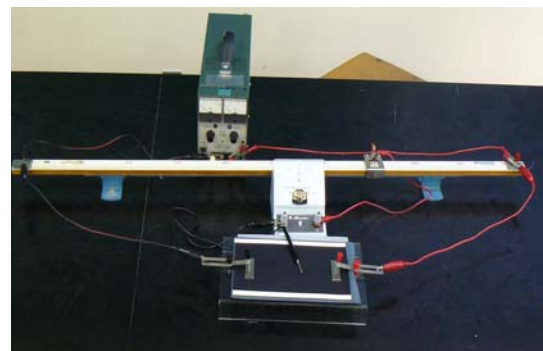


図10

イ 実験結果

図11



この測定では、検流計に電流が流れない箇所を記録していくため、計器の内部抵抗を考慮する必要がない。実験④よりもさらに精度が上がリ、図12の結果が得られた。2Vの電圧をかけたところ、1Vの等電位面が中央にきた。

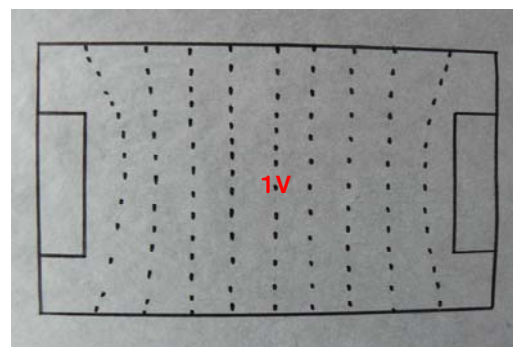


図12

(5) 観察・実験

様々な形をした導体紙を準備し、実験⑤のブリッジ回路を用いて等電位面の記録を行い、電場の様子を観察・実験した。

図13～図15が得られた結果である。なお、図16はH字型をした導体紙、図13の電極間の距離と電位との関係をグラフに示したものである。

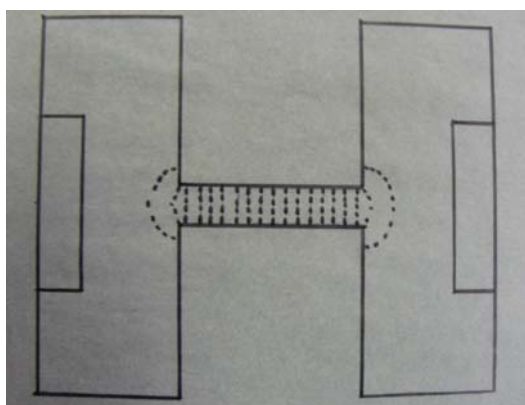


図13

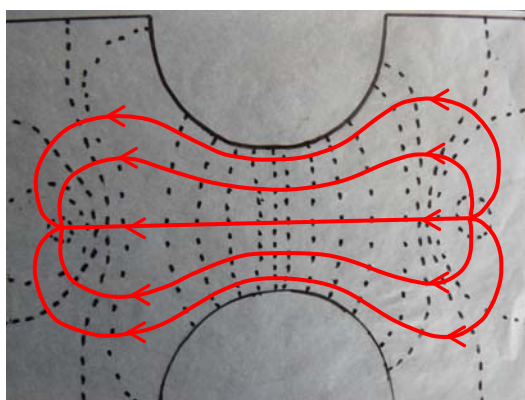


図14

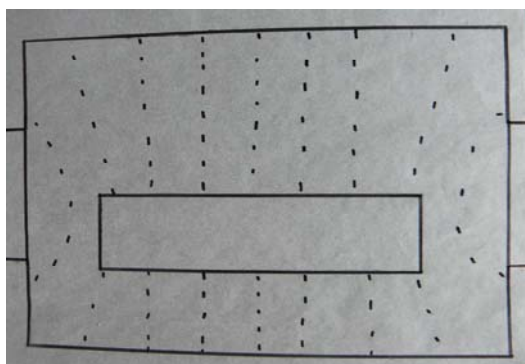


図15

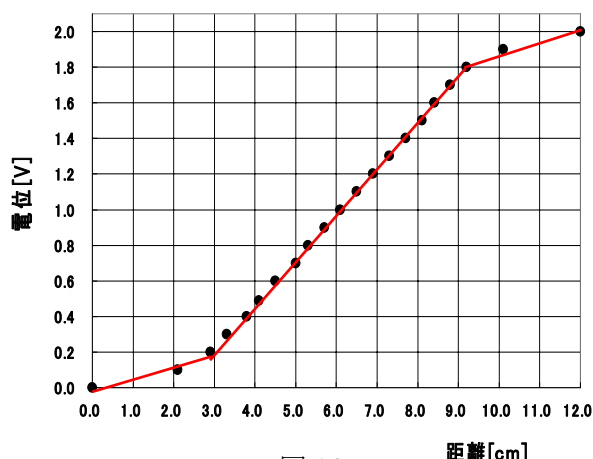


図16

(6) 電場と電圧についての考察

図9および図13の導体紙の形では、幅の狭い部分の抵抗が大きい。図13では端的にこの部分の等電位面の間隔が混み合い、大きな電圧が加わっていることがわかった。異なる抵抗の、直列接続に相当する電圧の関係を、視覚的に示す結果が得られたといえる。

図14の導体紙の場合、等電位面が紙の縁で垂直になっていることがわかった。等電位面に垂直に交さるように電気力線を書き込んだところ、電場の様子をより視覚的に理解することもできた。

図15の導体紙の形では中空の部分があり、異なる抵抗の、並列接続に相当する電圧の関係を、視覚的に示す結果が得られたといえる。

今後の課題として、テスト棒の接触抵抗による影響の誤差などを小さくし、より精度の高い実験を追求したい。また、導体紙の形を変える実験をさらに工夫し、電場の様子の研究を深めたいと考えている。

IV 参考文献

- (1) 後藤憲一ほか4名、(1990年)、『三訂版 高等学校物理』、数研出版
- (2) 左巻健男・滝川洋二編著、(1998年)、『たのしくわかる物理実験事典』、東京書籍