

自作導体紙と鉛筆プローブによる等電位線の実験

山本明利

導体紙研究の経緯

導体紙を用いた「等電位線の実験」は高等学校学習指導要領解説⁽¹⁾にも例示される物理の定番実験である。この実験に用いる導体紙は教材会社数社から市販⁽²⁾⁽³⁾もされているが、アナログ電圧計でも使用できるように抵抗率を低くしているため割高である。かつての学校には「謄写ファックスの裏紙」という無料で手に入る資源があったが、現役の先生方は聞いたこともないだろう。昔話である。

しかし、今では広く普及しているデジタルテスターを電圧計に用いれば、入力抵抗が極めて大きいので導体紙の抵抗はある程度大きくても気にならない。「普通の黒い紙」でも少なからず導体紙として使えるものがあり、安価に家庭でも実験できることを以前に報告した⁽⁴⁾。

使える紙の見分け方は、デジタルテスターで抵抗を測定すればよい。10cm ぐらい離して紙面にテスターリードをあてて、抵抗が数百 k Ω 以下なら等電位線の実験に使用できる。表裏で抵抗値が違うこともある。抵抗の小さい方を上面にして用いるとよい。「安い黒画用紙や、黒模造紙がむしろ成績がよい。身近なところではダイソーの黒画用紙が使える。」と YPC で報告したのはおよそ 10 年前のことだった⁽⁵⁾。

墨汁で導体紙を自作する

ところが 2024 年 11 月の例会で鈴木健夫さんから「ダイソーの黒画用紙が導体紙として使えなくなった」との報告があり⁽⁶⁾、実際、ダイソーやセリアの黒画用紙は品質が変わっていることが確認できた。そこで改めて導体紙として使える紙のリストアップを考えた。

ネットの情報を探ると、墨汁を塗った紙を導体紙として用いて、等電位線の実験や、喜多さん・鈴木さんが行った抵抗の実験を行っている実践例がいくつかあった⁽⁷⁾⁽⁸⁾。つまり、導体紙はわざわざ買わなくても自作できるのである。

これら先行研究をヒントに、色々な白紙に墨汁を塗ってよく乾かし、導電性の測定を試みた。使用したのはダイソーの墨汁「筆が戻りやすい書道液」(180mL、110 円)で、書道用の大筆を腰まで柔らかくほぐし、墨液をたっぷり含ませて白紙を白い部分が見えなくなるまでむらなく塗りつぶした。やはり墨を塗るには書道筆がよいようである。墨の持ちが良く一筆で多くの面積を塗りつぶせる。

測定条件をそろえるため、直径 6mm のネオジム磁石で紙を表裏からはさんで電極とし、10cm 離れた二点間の抵抗をデジタルテスターで測定した(右図)。測定結果を次ページの表 1 に示す。比較のため 1996 年の報告⁽⁴⁾の際使用した市販の黒い紙および旧ダイソーの黒画用紙(試料 S, T)も同じ条件で測定し、表 2 にその結果をまとめた。いずれの表も抵抗の小さい順に並べてある。

結果としてテストしたどの白紙も、墨汁を塗れば等電位線の実験になら使えるほどの導電性を示したが、表 1 に示すとおり、測定した試料中では、意外にも



表 1 墨汁導体紙の抵抗測定（電極間隔10cm）		※抵抗が小さい順にソートした	
記号	墨汁を塗布した紙の種類	抵抗 (kΩ)	備考
A	ダイソー・コピー用紙 (A4) 表面	10	¥1.1/枚
B	ダイソー・コピー用紙 (A4) 裏面	11	¥1.1/枚
C	白上質紙 (B5)	24	
D	Kodakフォトプリント紙 (L判)	26	こすると塗装が傷つき抵抗増加
E	板目紙 (A4) ツヤ面	27	
F	白画用紙 (B5) 表面	118	
G	白画用紙 (B5) 裏面	189	
H	Konicaスーパーファインプリンタ用紙 (A4)	559	
I	卒業証書用紙 (B4) 裏面	576	

表 2 1996年7月に報告した市販の黒い紙（電極間隔10cm）		いずれも導体紙として使用可能	
記号	黒い紙の種類	抵抗 (kΩ)	備考
J	ケーヨーD2・黒模造紙 (B4にカット)	11	¥12.5/枚
K	グリムホビー・画用紙黒 (B4)	27	¥20/枚
L	文華堂・マーメイド (B4) 表面	74	¥45/枚
M	文華堂・カラーケント黒 (B4) 表面	79	¥45/枚
N	文運堂・黒画用紙 (B4) 裏面	88	¥10/枚
O	文華堂・マーメイド (B4) 表→裏	89	¥45/枚
P	文華堂・コットン (B4) ザラ面	90	¥30/枚
Q	文華堂・マーメイド (B4) 裏面	100	¥45/枚
R	文華堂・コットン (B4) 滑面	104	¥30/枚
S	旧ダイソー・黒画用紙 (B4) 表面	104	¥11/枚
T	旧ダイソー・黒画用紙 (B4) 裏面	133	¥11/枚
U	文運堂・黒画用紙 (B4) 表面	144	¥10/枚
V	キング・クリアファイル (A5) 中紙黒	286	
W	黒ラシャ紙 (B4にカット)	292	
X	文華堂・カラーケント黒 (B4) 表→裏	496	¥45/枚
Y	文華堂・カラーケント黒 (B4) 裏面	770	¥45/枚

一番安いダイソーの「コピー用紙 (A4)」(表1試料A, B) が墨の乗りもよく抵抗が最も小さいことがわかった。光沢のある上質の紙 (表1試料D, E) はむしろ不向きで、墨の層が表面にとどまり傷つきやすい。

ネオジム磁石電極の工夫

なお、この測定で用いた「ネオジム磁石で紙をはさんで電極とする方法」(右図) は、次の点で



大変手軽で有用であることがわかった。

- ① 紙に穴をあける必要がない。
- ② 紙をはさむ圧力が一定になり条件をそろえやすい。ネジが緩むこともない。
- ③ 設置後でも、滑らせて位置を変更できる。
- ④ 鉄製のミノムシクリップを近づけるだけで磁力で電氣的接続ができる。

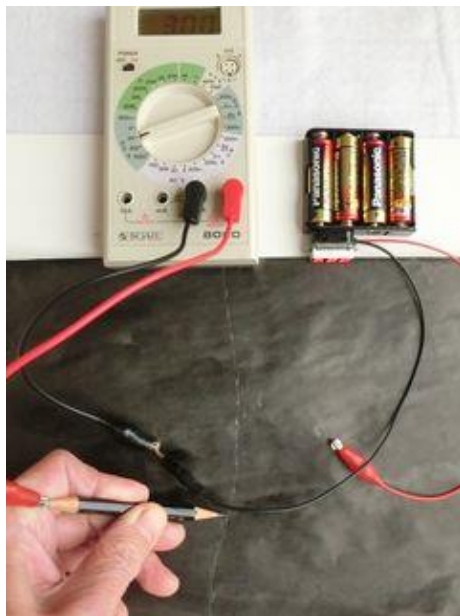
真鍮製で磁石につかないミノムシコードの場合はゼムクリップやワッシャなど鉄製の小物を噛ませればよい。それらをハンダ付けした専用コードを作るのも良いだろう。着脱が楽で、ターミナルやビス・ナットを用いる接続よりも格段に優れている。

鉛筆プローブの工夫

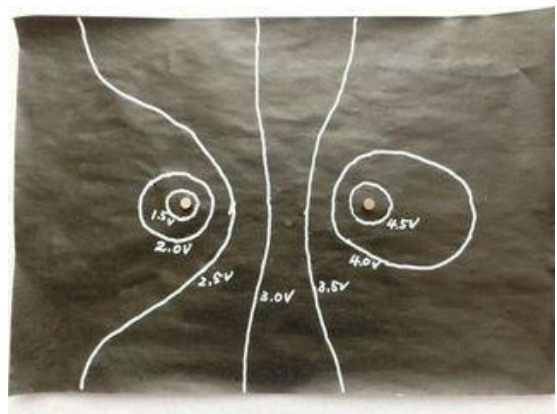
さらに、電圧測定にデジタルテスターを用いる場合、前述の通りプローブには電流がほとんど流れないから、両端を削った鉛筆をミノムシクリップではさんでテスターリードの代わりに使うことができる（右図）。鉛筆の抵抗は数 Ω ~10 Ω 程度である。写真の鉛筆はトンゴ鉛筆の2Bであるが、鉛柄や硬さはあまり気にしなくてもよい。

この「鉛筆プローブ」は探針として紙面に当てながら、そのまま導体紙上に線や文字を書き込むことができるので大変便利で、実験の能率が格段にアップする。左下図は、単三電池4本で6Vの電圧として、10cm離れた2つの点電荷に見立てた電極間の等電位線を探索しているところである。試料は表1のAダイソーのコピー用紙を墨汁で塗った紙である。

表1に見るとおり、この場合電極間の抵抗は10k Ω 程度で、導体紙に流れる電流は約0.6mAのオーダーだから、電源は乾電池で十分である。



右下図は鉛筆で描いた等電位線を白のポストカでなぞって見やすくしたものである。こうして、デジタルテスターさえあれば、等電位線の実験は百均のグッズだけで安く手軽に行うことができる。できれば個別実験としたい実験である。



参考文献

- (1) 文部科学省「高等学校学習指導要領解説 理科編・理数編」平成 30 年 7 月
- (2) 株式会社ナリカ「導体紙 (100 枚)」カタログ No:P70-2591
<https://www.scibox.jp/products/p70-2591/>
- (3) ウチダ「等電位実験器用導電紙 A4 5 枚組」<https://www.uchidas.net/shop/g/g86152765/>
- (4) 山本明利「等電位線の実験の導体紙」物理教育通信第 85 号 (1996)、1996 年 7 月 YPC ニュース No. 100 <https://www2.hamajima.co.jp/~tenjin/labo/action.pdf>
- (5) 山本明利「等電位線の実験」YPC2015 年 4 月例会速報
<https://www2.hamajima.co.jp/~tenjin/ypc/ypc154.htm>
- (6) 鈴木健夫「喜多さんの抵抗の実験+黒上質紙導通性の現状」YPC2024 年 11 月例会速報
<https://www2.hamajima.co.jp/~tenjin/ypc/ypc24y.htm>
- (7) 南原律子「ヘッドホンステレオとイヤホンで描く等電位線」物理教育, 第 44 巻第 1 号 (1996) https://www.jstage.jst.go.jp/article/pes.j/44/1/44_KJ00005908170/_pdf
- (8) 愛媛県総合教育センター「等電位線と電気力線の実験」
https://center.esnet.ed.jp/uploads/07shiryo/05rika/02_touden.pdf