

定年後に思うこと －理科教育について－



随 筆

松 尾 隆 祐*

Reflections on Elementary Science Education

Key Words : Science Education, Significance of the failure,
Interference fringe

はじめに

教育の重要性は多くの人が認めるところです。ひとりの人生にとっても、社会全体の進む方向にとっても教育はたいへん大きい意味を持っています。しかし、どのような教育をすればどのような人が育ち、その人たちが作る社会はどのようなものになるかということは明らかではありません。社会が進む方向はコントロールすべきではないし、現実にはできないでしょう。教育学がそういうことに成果を上げないのは正しいのだと思います。社会にしても個人にしても、様々な歴史・経験・条件・状況・制約のもとで成長するのですから、現実の社会が「しかじかの理由によって斯くの如きことになっている」と因果を跡付けることは、不可能でないとしても、観念に大いに依存することになります。個人についても同じように言えるでしょう。しかし、我々親は、子どもの前途は教育に依るところ大であると思ひ、また、社会の行く手は皆がどのように考えるかによって決まると考えて、教育の役割は重要だと考えます。

理工系人間の子供時代

教育にはこのように因果関係のはっきりしないことが多いのですが、その中で、理科は比較的わかりやすい状況にあります。それは、理科の内容が世界共通だからです。アジアでもヨーロッパ、アメリカ

でも理科では全く同じことが教えられると考えてよいと思います。歴史的にも、例えばマヤ文明を築いた人々の抱いていた感情を私たちが知ることはできませんが、大きい建造物を作るとき、彼らは作用・反作用の原理や槌子の原理を使ったと考えてよいでしょう。また、5300年前にイタリアアルプスの山中で、例のアイスマンの致命傷となった矢も、イリウム城外でアキレスの踵に刺さった矢も、屋島の沖で那須与一が放った矢も同じ力学に従って飛び、それぞれの射手は、矢を正確に遠くまで飛ばすに必要な同じ力学的原理を知っていたに違いありません。このような知識は後にヨーロッパで学問として体系化され、それを我々は理科として教えています。

子供が科学的知識を得る過程を考えると、白紙状態で学び始めるのではなく、学校で学ぶ前に、意識するかしらないかは別として自分なりの理解の枠組みを持っているように思います。子供にとって新しい体験はその枠に組み込まれ、枠組みを強化したり、改変したりします。系統的な教育がおこなわれる前の時代には、そのような理解に長けた人が、上で例に挙げた石工や弓の巧みな大人に成長したのでしょう。

このようなことから、自分でいろんなことに興味をもって、遊びながらいろんなことを理解し、それらを自分の枠組みに組み込むことが理科では大事なのだと思います。

現在かなりの年配で理工系の仕事についている人のなかに、子ども時代にラジオ工作に夢中になったという方が多くおられます。著名なところではファインマンの自伝に、おじさんのラジオの修理をしたり、ラジオ放送のまねごとをするなどの話が出てきます。また旧東ドイツで育った物理学者ハラルドフリッチさんの *Escape from Leipzig* [1] には、ライプツィヒの町で、ラジオ回路の知識を使って大胆で滑



*Takasuke MATSUO

1939年大阪府池田市生まれ
大阪大学名誉教授
クラーク記念国際高等学校 大阪キャンパス勤務
現役時代の専門：物性物理化学、化学熱力学 OUESS所属

稽な反政府活動をしでかす話があります。昔のラジオは真空管式で、共振コイルを自分の手で巻いて作るところから始まり、抵抗、コンデンサーなどをハンダづけして全体を組み上げるというものでしたから、電気回路の隅々まで解るといふ利点がありました。ハンダづけをすると銅、鉄、アルミ、真鍮など金属の違いは明瞭だし、実際にラジオを聴くと、時間帯と周波数帯によって聞こえる放送が違います。とくに短波ラジオでは、電離層や波の干渉などの、のちに大学で学ぶ事柄を、中学校時代に（場合によっては小学校時代に）経験として知ってしまうことになります。また共振コイルの良さを表わす Q という量が出てきますが、その同じ量が今年のノーベル物理学賞のスウェーデン科学アカデミーによる解説に幾度も現れます。ファインマンは理論物理学者になりましたし、ラジオ作りの経験と知識が理工系人間としての自分の出発点にあると感じる人は多いと思います。

この現象は第二次世界大戦から朝鮮戦争にかけての一時代に特異な事情の反映であったかもしれませんが、そのころラジオ放送が一般化し、実用性がありなお且つ子どもの手にも負える程度の電気回路、その材料を安価に売る社会経済構造等がそこに働いていたでしょう。しかし、子供が夢中になって取り組み、後々長く残る知識を自然と身につけられる遊びがそれぞれの時代にあると考えるのもです。

家でできる実験

子供が家で自分の考えに従ってできる実験は、学校で学ぶ実験と異なった意義があります。大きい違いは、幾度でも失敗してよいことでしょう。ラジオの例で言いますと、作ったラジオが聴こえないのが失敗です。回路の配線が一つ違ふと聴こえないので、何がいけないのか五里霧中となります。いろいろ試した後、間違いを見つけて、やっと成功すると、全体が見通せるようになります。うまく働くところまで行って初めて全体が納得できるという点では、コンピュータープログラムもこれと似たところがあるように思います。しかし学校の実験は失敗しないようにお膳立てされていますので、何が要点なのか分からないということになりがちです。

自分からする実験のもう一つの意味は、一つの実験の周囲に付随するいろんな事柄を必然的に身につ

けてしまうことです。再びラジオの例で言えば、金属材料の固さは重要な特性ですが、コイルを巻くときに実感します。アルミと銅の密度の違いや、熱伝導度についても材料ごとの違いが解ります。

このようなわけで、自分の家でできる理科実験を幾つか考案し、大阪市立科学館の友の会誌「うちゅう」に掲載していただきました[2-7]。そのうちの3つをここで紹介したいと思います。

(1) アルミ箔検電器 [3,4]

台所用として容積1 Lの円筒形ガラス容器が市販されています。そのプラスチック製ふたの中心に小さいゴム栓が入る穴をあけ、ゴム栓に径2mm、長さ10 cm程度の針金を通します。アルミ箔を切って25 mm角の正方形に幅5mm長さ50mmの吊り下げ部分を付けたものを2枚作り、針金の下端につり下げます。全体をガラス容器に納めるとできあがりです。検電器を帯電させると2枚のアルミ箔が開き、帯電したことが判ります。(写真1)



写真1 ジャーを利用して作った検電器
ガラス容器の外で帯電させたところ。

帯電のさせ方として、教科書には、帯電したガラス棒を検電器に近づけることによって、検電器の正負電荷を偏らせたのち、一方の電荷を放電させることによって、正味の電荷を検電器に残すという方法が書かれています。ここではもっと直接的な方法を

採りました。2本の硬質塩ビパイプ（20mm 径、50cm 長）とアルミ箔（20cm 角）を用意します。アルミ箔を4つに畳んで、粘着テープで一方の塩ビパイプの端に貼り付けます。その塩ビパイプを左手に持ち、もう一方の塩ビパイプを右手にもって、アルミ箔の上を数往復摺動させます。そうするとアルミ箔は帯電します。アルミ箔を検電器に接触させることによって検電器を帯電させることができます。電氣的に絶縁したアルミ箔を摩擦によって帯電させるところがこの方法のミソで、その後金属同士の接触によって検電器に電荷を移します。

逆に帯電した検電器から半定量的に電荷を除くこともできます。それには、高分子材料でできた棒（同じ塩ビパイプでよい）をもう1本用意し、その先に、アルミ箔を直径5cm 程度の球形に丸めたものを粘着テープで留めます。検電器を帯電させ、2枚のアルミ箔がある角度に開いた状態にします。検電器に、絶縁されたアルミ箔球を接触させると、アルミ箔の開き角がすこし下がります。アルミ箔球を検電器から離し、アルミ箔球に手を触れて放電させたのち、再び検電器に接触させると、検電器の開きはさらに小さくなります。このようにして、放電を繰り返し、検電器の開き角を測定した結果を図1に示します。開き角はデジカメで写真を撮り、写真上で測定しました。この実験で静電気の実験が多少定量的になり、また静電気と電流の関係が近くなったと言えます。なおアルミ箔を球形にするのは電気容量を計算で出すことも考えたからです。

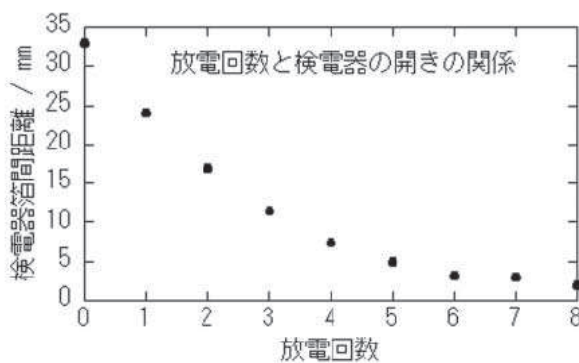


図1 検電器の放電回数と箔の開きの関係。

検電器の開き角は重力と静電気力から計算できるはずですが、実際は電荷分布が点ではないので、複雑なことになりそうです。電荷は開いたアルミ箔対にどのように分布するのでしょうか。どなたかご存

知でしたらお教えてください。仮に点電荷であるとして計算すると、この実験の場合2.32nC クーロンでした。また、アルミ箔と塩ビパイプの接触によってアルミ箔は正に帯電します。これは自由電子がアルミ箔から塩ビに移動すると考えればよいだろうと思います。塩ビに含まれる塩素の電気陰性度と結びつけられるかどうかは解りません。

(2) フェライト磁石の強さ [2]

磁気は理科教育で重要な位置にあります。強力なフェライト磁石が安く売られていますが、その強さを測定する実験を考えました。2個のフェライト磁石をコの字形の鉄棒の内側に貼り付け、その空隙を銅線が横切って動くような仕掛けを作ります（図2）。銅線は約10cm 角のプラスチック枠に巻き、検出器の感度を考えて40回巻きとしました。コイルを

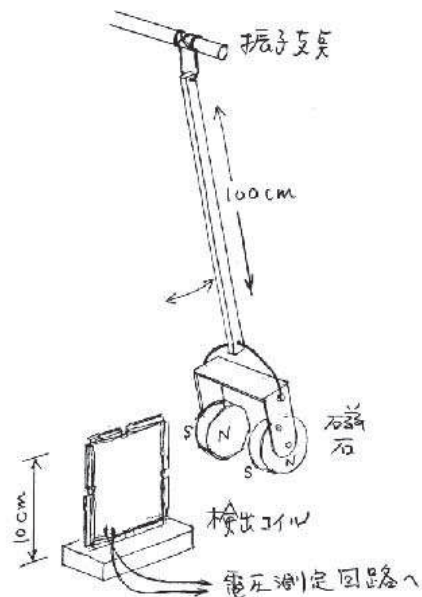


図2 磁束測定装置の見取り図。

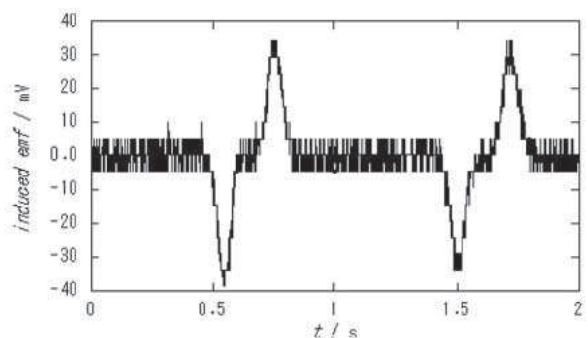


図3 図2の装置で測定された誘導電圧。

跨いで磁石が動き、コイルの枠内に磁場が入るとき、コイルに誘導電圧が発生します。磁石がコイルを通り過ぎて、磁場が枠外に出るときには逆の電圧が発生します。インターフェースを通してこの電圧をパソコンに取り込みます。刻々の電圧は、磁石の移動速度と磁束密度の積の、銅線の長さ方向にわたる積分（の40倍）で与えられます。コイルで検出した電圧を図3に示します。かなり大きいノイズ風の幅は電圧測定の分解能による限界です。正負のピークは同じ面積になり、また、面積は磁石の移動速度に依りません。その大きさから、磁束がウェーバー単位で得られ、フェライト磁石の面積で割ると磁束密度がテスラ単位で得られます。この関係は次式のとおりです [8].

$$\begin{aligned} \int \phi(t) dt &= \int dt \int \frac{dx}{dt} B(x, y) dy \\ &= \iint B(x, y) dx dy \\ &= -\Phi \end{aligned}$$

ここで $\phi(t)$ は起電力、 $B(x, y)$ は点 (x, y) における磁束密度、 Φ は磁束です。

この実験は理科教育より上のレベルにあり、大学の物理実験や、卒業研究にも使うことができます [9].

(3) 光の波動性 [7]

半導体レーザーが安く手に入りますので、光の干渉効果の実験が手軽にできるようになりました。赤色半導体本体を購入し、ベーク基板上にスイッチや電池端子と取りつけます (写真2)。レーザービームは数メートル進んでもほとんど広がりませんが、光路にスリットを入れて、ビームの幅を制限してやると、ビームは先で広がります。目に見えるほどの広がりを得るには1mmよりかなり狭いスリットを作る必要があります。しっかりした台紙に10mm角の穴を切り取り、その周に両面テープで縁どりをします。アルミ箔で半分を覆い、ごく狭く隙間を開けて残りの半分もアルミ箔で覆います。これがスリットで、写真2の手前に写っています。スリット幅は、高倍率のルーペを通して、デジカメで物差しとスリットを同時に撮影することによって決定します。写真3の例では0.24mmの幅でした。

スリットを通したレーザービームのスポットと通

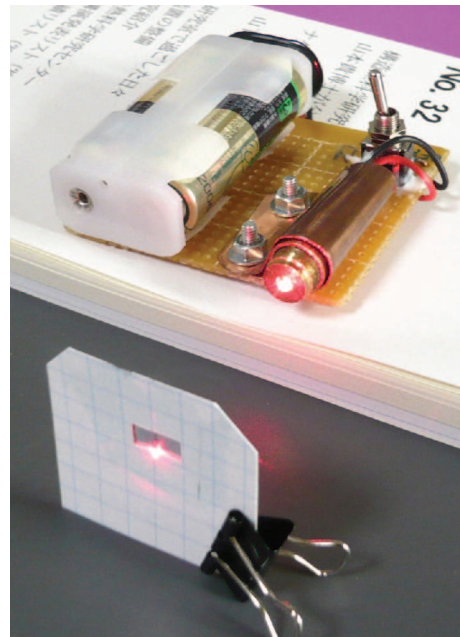


写真2 レーザー光源（奥）とスリット（手前にある衝立て状紙片）。

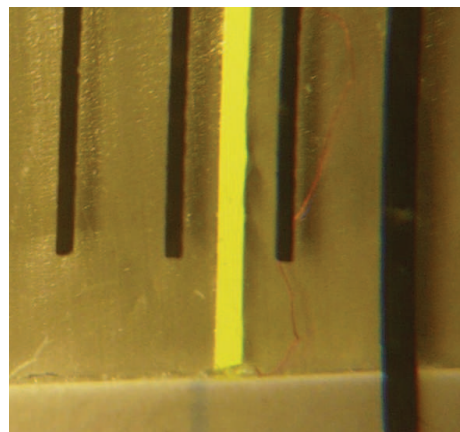


写真3 スリット間隙（明るい部分）3本の黒線は定規の1mm目盛り。

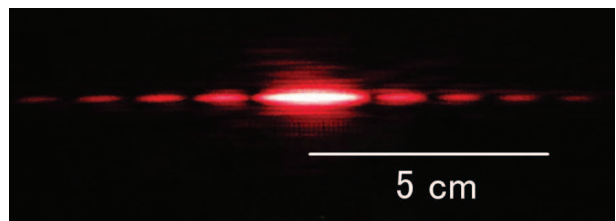


写真4a スリットを通ったレーザー光線による干渉縞。

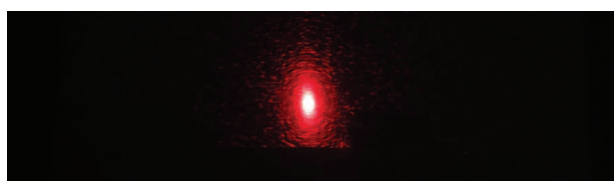


写真4b スリットを通らないレーザー光線のスポット。

さないスポットを写真4aと写真4bに示します。スクリーンまでの距離は4.20mでした。

このパターンとスリット幅からレーザー光の波長が計算され、710(+/-)60 nm となりました。真の値は635nmですから、少し大きめに出ています。

ヤングの実験では2重スリットを使いますが、この実験で示した通り、単一スリットでも干渉効果が現れます。その計算は大学の物理に属し[10, 11], 初等・中等理科では計算結果だけで済ますこととなります。スリット幅を変えたり、2重、3重のスリットから生じる干渉縞の実験を加えれば、波動光学のテーマとして大学の物理で使えるだろうと思います。

終わりに

以上に述べた実験を実際にやってみますと、いろいろと迷うことが出てきます。実験が本来目指していることの周囲にいろいろな工夫を要することがあって、それらの理解が科学全体の理解にかかわっているようなところもあります。失敗することで理解が進むのは、本来の実験テーマの回りにある様々な要素を考えることになるからだろうと思います。

ここで挙げた実験は原理に直結したテーマに関するものです。このような主題に関して教室で話すときには学生や生徒によくわかるようにすべてを明快に話すことが求められます。それはその通りですが、しかし他方で、今学びつつあることの先に、難解なこと、学ぶに値することがあるということを伝えるのも大切です。それが本来あるべき姿であるとも思えます。面白いと思った学生は自発的に学び出すでしょうから、今の教育にはそのような側面をもう少

し求めるべきかもしれません。

引用文献

- [1] Harald Fritzsche, *Escape from Leipzig*, World Scientific (1990, 2004)
- [2] 磁石の強さはどれくらい? 川上, 権野, 松尾, うちゅう (大阪市立科学館) **23**, No. 3 (Jun. 2006) 16-18.
- [3] 家庭で作れる検電器とそれを使った実験, 渡辺, 船木, 権野, 松尾, うちゅう (大阪市立科学館) **24**, No. 11 (Feb. 2008) 16-17.
- [4] 家庭で作れる検電器とそれを使った実験 (応用編), 渡辺, 船木, 権野, 松尾, うちゅう (大阪市立科学館) **24**, No. 12 (Mar. 2008) 12-13.
- [5] 百人おどしの電圧は何ボルト? 黒坂, 栢菅, 上善, 鈴木, 東浦, 福井, 松尾, うちゅう (大阪市立科学館) **26**, No. 9 (Dec. 2009) 12-13.
- [6] 家庭でできるレーザー光実験 (1) 屈折率測定 新井, 辰己, 田中, 中林, 和田, 松尾, うちゅう (大阪市立科学館) **28**, No. 11 (Feb. 2012) 16-17.
- [7] 家庭でできるレーザー光実験 (2) 干渉縞測定 新井他, うちゅう (大阪市立科学館) **28**, No. 12 (Mar. 2012) 16-17.
- [8] 砂川重信 電磁気学 岩波書店 (1996).
- [9] 電磁誘導法による永久磁石の強度測定 -サイエンスメイトの物理実験への適用- 遠藤, 井上, 松尾, 千葉科学大学紀要, 第4号, 55-58 (2011).
- [10] 太田信義 一般物理学下 p.316 丸善 (1995).
- [11] 小形正男 振動・波動 p.176 裳華房 (2002).

