

授業ノート《自由電子が見えたなら》

2009.8.12 北海道たのしい授業講座用 .8.13

仮説実験授業研究会・北海道

丸山秀一

この授業書の「授業ノート」と呼ばれる解説書はいくつか出ていますが、ボクが授業でやっていることをまとめてみることにします。

『仮説実験授業研究第三期』の第2巻にある板倉先生の解説もぜひお読みになってください。

渡部みゆきさん(愛知県)作成の「絵カード」があると授業がとてたのしくなります。とつてもあつたかい感じの絵柄とわかりやすい説明。復習にもとても便利なものです。ただこの授業書用の絵カードは印刷の関係か、2つの問題が1枚の紙に書かれていることもあるので、それは切り離して使っています。

第一部 電気を通すもの、通さないもの

すべてのものを

- ・電気を良く通すもの
- ・電気をほとんど通さないもの

の二つに分けてみようというわけです。

空気は「電気をほとんど通さない」とされていますが、それは空気も電気を通すことがあるからです。雷なんかがそうですね。ただし、これは自由電子の働きではありません。高電圧のために、空気分子が電離(電気を帯びてイオンとなる)することにより電気が流れるのです。

質問1 金物のスプーン

「電気を良く通すかどうか」を調べる簡単な実験器具の紹介です。豆電球が光るとともに、ブザーも鳴るようにしておくと、よりたのしめます。また、装置の電圧は乾電池が1~2本=1.5~3ボルトぐらいまでにしておくほうが良いです。

問題1 一円玉

これからお金を使った実験をしますが、できればお金は生徒さんたちから借りた方がたのしめます。

実験結果が出たら、黒板に「豆電球がついたもの」「つかないもの」と分けて貼り付けていくと良いです。

問題2 五円玉

ここにはあつた方がよいものなどが書かれます。

『仮説実験授業研究第三期』
第2巻, 仮説社

・絵カード

渡部みゆきさんの「絵カード」は、たのしく便利です。

・雷の写真

真空中では電気は流れません。

・自由電子テスター

・ステンレスのスプーン

・一円玉, お金の図版

・五円玉

なにか真鍮でできているものを見せてあげると良いでしょう。

問題 3 十円玉

「少し他の金属が混じっている」とありますが、混じっている金属は錫です。青銅とはブロンズともいわれるもので銅像などにも使われています。昔から銅のお金は、強度と耐食性を高めるために錫を混ぜた青銅を使っているのです。

問題 4 百円玉

今の五百円玉は白銅ではありませんので、「昔の 500 円玉」としてください。

今の五百円玉は銅にニッケルと亜鉛を混ぜたもので「ニッケル黄銅」と呼ばれる合金からできています。

五百円玉の材質を変えたのは、韓国の 500 ウォン硬貨とほぼ同じ材質、大きさ、重さ（旧 500 円 7.2g, 500 ウォンは 7.5g）だったため、自動販売機で 500 ウォン硬貨が 500 円玉として通用してしまったからです。当時 1 ウォンは 0.1 円ぐらいですので、500 ウォンといっても日本円で 50 円ぐらいの価値しかなかったのです。

ウォンというのは漢字で書くと「円」=「圓」です。また中国の貨幣単位のユアンも漢字で書くと「圓」=「円」です。中国では発音が同じ漢字の「元」も使います。つまり、中国と朝鮮半島と日本は、同じ貨幣単位を使っているわけです。

現在の新 500 円玉でも実験してみましょう。生徒さんたちの中には「偽金対策をして材質が変わったから豆電球はつかない」と予想する方もいます。

自動販売機はどうやってコインを見分けているのでしょうか。昔は、磁石が使われていましたが、パチスロの流行で鉄製の遊技用コインが自動販売機に投入されるようになり、磁石にくっついて詰まってしまうため、現在では磁石は使われていません。

問題 5 千円札

「夏目漱石の肖像が入っている」とありますが、現在は「野口英世」です。印刷の色の濃い部分で実験してみようというわけです。これも「自動販売機はどうやってお札だと判断しているか」を考えるとたのしいです。

お札をカラーコピーしたものではありません。お札に使われている特殊インキ=磁性塗料を確認しているのです。お札（特に 1 万円札）は強力磁石に反応します。

問題 6 アルミホイル

真鍮のもの

- ・ 十円玉
- ・ 青銅のもの

- ・ 百円玉, 五十円玉, 昔の五百円玉

- ・ 新 500 円玉

- ・ 500 ウォン

- ・ 中国の圓紙幣

自販機のコインの選別については、板倉聖宣著『ミニ授業書 磁石につくコイン つかないコイン』（仮説社）が詳しいです。

- ・ 千円札
- ・ 一万円札

- ・ ネオジム磁石

- ・ アルミホイル

家庭用のアルミホイルは、表と裏で光沢が違います。それは、アルミホイルの作り方に理由があります。ローラーでアルミホイルは延ばされてゆくわけですが、仕上げの工程では生産性を上げるために二枚重ねにされてローラーで延ばされます。このとき、ローラーに当たった面がピカピカの光沢となるのです。

問題7 ラップ

プラスチックとは、合成樹脂（高分子化合物=同じ単位分子が、いくつも繰り返して重なっている物質）のことです。プラスチックには自由電子がないので金属のように電気を通しません。白川英樹博士は、電気を通すプラスチックを発見しノーベル賞を受賞しました。博士が発見したポリアセチレンというプラスチックは、金属のようにピカピカしています。

問題8 木のおはし、鉄釘、スチールウール、茶碗、鉛筆の芯

鉄釘は大きな「五寸釘」を使うと良いです。五寸釘は、実際には建物の建築には使われることがほとんどないそうです。鉛筆の芯は、鉛筆の両側を削って使うと良いでしょう。シャープの芯でもやってみましょう。

「鉛筆の芯で電球がうまくつかなかった」ということをよく聞きます。実は、芯の濃さと関係があるのです。芯の濃さによって黒鉛の割合が異なります。色が濃いものほど黒鉛の割合が多くて、電気を伝えやすくなります。また高価な鉛筆ほど黒鉛や粘土の粒を細かくして、なめらかに書けるようにしていますが、電気伝導度も高くなっています。つまり、「安物で色の薄い芯の鉛筆」を「乾電池1個で2.5ボルト用の豆電球を使って実験」すると、「豆電球がつかない」といったことになるのです。おすすめは「ぺんてる」の鉛筆です。このメーカーの鉛筆は濃さに関わらず電気抵抗がとても低くなっています。

石墨=黒鉛=グラファイトの話

鉛筆の芯は黒鉛に粘土を混ぜて焼き固めたものです。

乾電池から炭素棒を取り出すには、単1（一番大きいもの）のが作業しやすいです。乾電池の側面は海苔巻きのように金属が巻かれた状態になっています。その合わせ目にマイナスドライバーを差し込んでこじ開けます。少し浮いたら、それをペンチでつかんで全部はぎとります。そうすると、亜鉛の筒が現れます。炭素棒はプラス極のキャップと一体になっています。そのキャップをペンチでつかんで引き抜くと炭素棒と一緒に抜けてきます。

・ラップ

・白川英樹博士の写真



・ポリアセチレン



・木のおはし、鉄釘、スチールウール、茶碗、鉛筆の芯

・シャープの芯

詳しいことは次の記事をどうぞ。西田隆「電気をたくさん通す鉛筆って」『たのしい授業』No.156, 仮説社

ボクはこの実験を追試して、別の結果も得ました。

スチールウールに9V乾電池などをつけると燃え出しますので注意。

・石墨（鉱物）

・乾電池の炭素棒

・ダイヤ

・ふつうの炭

・結晶模型図

「ふつうの炭」や「ダイヤモンド」は、ほとんど電気を通しません。実験してみましょう。

グラファイトは、ゴルフクラブやラケットのシャフトの素材として使われます。変形しやすい金属よりも弾性があり軽いからです。

電気を通すもの、通さないもの見分け方

「電気を良く通すのは、金属と石墨だけ」ということを、いちいち実験してみなくても、科学者がすでに調べてくれているというわけです。

科学の言葉「金属」

金属の定義を、その最も大切な性質から「電気を良く通すもの」とするわけです。

「薄くしても不透明」という定義は、ここでしか出てきません。

金属と自由電子

金属かどうかは、見ただけでわかります。金属には特有の金属光沢があるからです。鏡もガラスなどに金属を薄く貼り付けたものです。

「クリスタル・シミュレーター」は、直径 1 ミリほどの金属球を詰め込んだものですが、自由電子のイメージにしても良いでしょう（入っている金属球が多すぎるので 3 分の 1 程度に減らした方がよい）。ただし、この粒が電子の大きさだとすると、原子は直径 100 メートルほどの大きさです。

問題 9 アラザン

菓子材料の専門店やケーキ屋さんで「大きなアラザン」をわけてらみましょう。ふつうのアラザンよりもおいしいですし、実験しやすいです。イタリアに「シルバージュエル」という大きな銀のお菓子がありますが、最近は入手できないようです。

アラザンとは「銀」という意味で、銀の原子記号の Ag もそこから来ています。

仁丹でも実験してみましょう。

抗菌グッズなどに銀がつかわれているように、銀には弱い毒性があります。そこで、あまりにもたくさん銀を食べると中毒になるそうです。

水がホースの中を流れるのと・・・

「電気が流れた」というのは、「それまでばらばらに動いていた自由電子が、一定方向に向かって移動した」ということです。それは、

鉛も字を書くのに使われていました。グラファイトは黒い字が書けたので「黒鉛」「石墨」と名付けられました。

あまり深入りせずにさらっとやります。この後、これらのことを実験で確かめていきます。

- ・アラザン
- ・仁丹

・山田芳子「クリスタル・シミュレーター」『たのしい授業』No.251 参照

実は電子には大きさはないと考えられています。

- ・大きなアラザン
- ・純銀箔

アルミホイルと比較すると白っぽくて、「しろがね」と呼ばれるわけがわかります。

- ・仁丹

『元素 111 の新知識』によると、銀は「中毒症状を起こす量は 60mg、致死量は 1.3 ~ 6.2g」だそうです。

この話も簡単に済ませる。省略しても良い。

電場によって引き起こされます。電場の中の自由電子は、一定の向きに動かされるように圧力を受けるのです。それが電圧です。

「電流と水流とは違う」というのは、交流を考えるとよくわかります。家庭のコンセントに來ている交流では、電線や電気器具の中の自由電子は、前後に揺り動かされているだけで、水流のように進むことはないのです。

第二部 自由電子が見えたなら

問題 1 銀紙

ガムの包み紙の銀紙でもやってみると良いでしょう。中身は処分してもらいましょう。

銀紙にはアルミニウムが使われています。アルミニウムは銀と同じく全ての色の光を同じように反射しますので、特定の色がつくことはなく、鏡にも使われています。しかし、銀とくらべると反射率が低いので暗い感じがします。銀は、あらゆる金属中で最高の反射率を持ちますので、明るい鏡となります。

問題 2 金紙

金紙の表面の塗装はとても薄いため、ちょっと力を入れて押さえたりすると、電気が通ってしまいます。予備実験が必要です。サンドペーパーをかけるときも、強くかけ過ぎないように。

銀・金色の折り紙と自由電子

マニキュアを落とす除光液を金色などのホイル折り紙に塗って拭き取ると、塗料がきれいにはげます。感動的ですので、おすすめですよ。

「金色のアラザン」も電気を通しませんが、こすると電気を通します。これも金紙と同じです。ホンモノの金を使ったアラザンもありますが、これは、ちゃんと電気を通します。

ところで我々は、ホンモノの金よりも少し赤みかかった色を「金の色」と感じるようです。純金を使ったアラザンの中には、わざわざ赤の色を加えているものもありますが、多くの方は「こちらがホンモノの金の色」だと言います。実際アルミホイルの上に黄色のセロハンをつけても、金紙のようにはなりません。オレンジ色のセロハンの方が金紙に近い色になります。

作業 エナメル線

まず予想を聞いてから実験してみると良いです。エナメルというのも塗料の種類の名前です。最近では、ホルマル線がエナメル線として売られていますから、注意が必要です。

自由電子の説明は以下の導電性プラスチックのサイトが優れている。

<http://www1.e-science.co.jp/s hirakawa/ep.htm>

- ・銀紙
- ・ガムの包み紙の銀紙
- ・鏡（銀鏡、バックミラー）
- ・アルミホイル
- ・銀箔

詳しくは「金属の一般的な特徴」で

- ・金紙
- ・紙やすり

- ・除光液
- ・ホイル折り紙
- ・黄色かオレンジ色のセロハン

- ・金色のアラザン
- ・金のアラザン
- ・純金

- ・エナメル線
- ・ホルマル線
- ・紙やすり

紙やすりを配って、こすってもらうと良いです。

問題3 アルマイトのやかん

「アルミニウムはさびやすい」「傷がつきやすい」ということで、『ものづくりハンドブック2』に福田美智子「恐怖! オーマンの印」として載っていた次のような遊びはどうでしょうか。

全員に一円玉を2枚ずつ配り、重ねて左手の手のひらの上に乗せます。そして右手で重ねた一元玉の上の一枚を下の一円玉とこすり合わせてぐるぐると回します。アルマイト加工されていない一元玉の表面は柔らかく、削られて出てきたのが「オーマンのしるし」というわけです。「今日の運勢」としてもいいでしょう。『たのしい授業』No.345には、崩出弘「よい子テスト」とも載っています。

自動車のアルミホイールもさびないように表面が加工されています。ボクはアルミホイールをクレンザーで磨いたことがあるのですが、そのあとさびてボロボロになってしまったことがありました。

問題4 フェライト磁石

ドーナツ型の大きなものがオススメです。まず磁力が強くて引き離すのが難しいことがわかります。皮膚が挟まると怪我しますので、注意。床に落とすと、粉々に割れますので、セトモノみたいなものであることがよくわかります。

フェライトとアルマイト

フェライト磁石は、砂鉄を焼き固めたようなものです。砂鉄は「鉄」という字が使われていますが、酸化した鉄であり、金属ではありません。

さびと自由電子の話

教室の窓にアルミサッシが使われていたら、実験してみましよう。また黒板のチョーク受けの部分もアルマイトが多いようです。

問題5

金・銀箔押し of 書籍などは、たしかに金や銀を使っています。記念誌など金がたっぷり使っているものを探しておきましょう。「LEE」というカレーの箱の金文字も良いです。

向こう側が透けて見えるピカピカしているキャンディーの包み紙なども用意するとたのしいです。中身は要らないので子どもたちに処分してもらいましょう。

- ・アルマイトのやかん
- ・一元玉
- ・ウェットティッシュ
- ・紙やすり

アルマイト加工は理化学研究所の瀬藤象二が1929年に発明したものだ。

アルマイトの色の違いは、製造法によるものだ。

- ・フェライト磁石
- ・紙やすり

- ・金属光沢のある磁石（アルニコ磁石など）
- ・さびて赤くなった鉄
- ・砂鉄
- ・酸化鉄，アルマイトの分子模型図
- ・紙やすり

- ・乾電池
- ・金銀ポスターカラー
- ・金銀クレヨン
- ・金文字の印刷物
- ・蒸着されたもの
- ・紙やすり

問題 6 水銀

水銀スイッチはその有害性から、日本では作られなくなりました。朱肉には水銀（辰砂=硫化水銀）が使われていますので、その色はいつまでもあせることはありません。

水銀は蛍光管に入られています。放電により水銀が紫外線を出し、それが蛍光物質を光らせているのです。蛍光管の両端付近に灰色のシミのようなものが見えることがありますが、それは蒸着した水銀です。

金属光沢と自由電子

豆電球に 100 ボルトを通すと、フィラメントが蒸発し、ガラスの内側について、見事蒸着となります。豆電球が割れることもありますので、注意してください。

岩波映画に蒸着の良いものがあります。また、「クリスタル・シミュレーター」で、「固体の金属が蒸発してまばらにつく」という蒸着の様子をうまく再現できます。

問題 7 ナマリ

最近のつりのおもりは、さびないように表面が加工されています。一度紙やすりをかけて放置しておいたものか、表面加工されていない鉛を使うと良いです。

鉛をこすってピカピカにする作業はたのしいものです。でも、鉛は有害ですので、終わった後にはきちんと手を洗ってもらうようにしてください。昔は、鉛から作る白い顔料をおしろいとして使って、中毒になった人がたくさんいました。さびた鉛で白いところがあったら、それがおしろいの原料として使われた鉛白です。それは、かつてはワインを甘くするために使われていました。また、鉛製グラスもよく使われたため、それで中毒になる人も少なくありませんでした。ベートーベンの耳が聞こえなくなったのも、鉛中毒が原因と考えられています。

昔の水道管は鉛を使っていました。鉛は表面に薄くて緻密な皮膜ができてそれ以上錆が進まないためです。

金属のいろいろ

まず「知っている金属（単体）の名前を出し合いましょう」として出してもらおうと良いです。

単体金属か、その写真を見せてあげると良いです。仮説社で取り扱っている「世界一美しい周期表 原子カード」が便利です。

周期表から金属原子を切り抜いたものを用意すると、金属原子の多さがよくわかります。そして、そのほとんどは銀色なのです。金

- ・水銀（体温計など）
- ・水銀スイッチ
- ・朱肉

水銀の代わりにガリウム（融点 30 度）を使っても良いです。

- ・蒸着装置
- ・岩波映画「アルミニウムの蒸着」
- ・クリスタルシミュレーター

- ・つりのおもり
- ・紙やすり
- ・ウェットティッシュ

・子どもが鉛を飲み込むと急性中毒の恐れがあります。

- ・おしろい

- ・ベートーベン

- ・金属単体（鉛、錫、亜鉛、水銀、白金、タングステン、チタン、ニッケル、コバルト、カルシウム、ナトリウム）
- ・合金（ハンダ、ニクロム）
- ・単体写真カード
- ・周期表

属の中で、金と銅だけは、どの波長の可視光線も同じように反射するだけでなく、黄色や赤色の光を多く反射するので色がついて見えるのです。

第三部 自由電子と熱と電気（実験中心版）

第三部は「お話中心」と「実験中心」と二つのバージョンがありますが、「実験中心版」で解説します。

問題 1 鉄と銅の電気伝導率

いままで自由電子テスターに乾電池を 2 個使ってきた方は、一個を外してケーブルでつないで乾電池一個にする必要があります。授業書では「1.5 ボルト用豆電球」とありますが、これも「2.5 ボルト用」を使った方が結果がはっきりとでるでしょう。

銅線だと、「10 メートルにのばしてもまだついている」ということもあります。教室の前と後ろを往復させるようにすると良いです。

金属の電気の通りやすさの比較 1

問題 2 アルミの電気伝導率

金属の電気の通りやすさの比較 2

質問 1 電気をもっともよく伝える金属

これは多くの方が間違えます。特に電気に詳しい人ほど間違えます。高級なケーブルの端子には金メッキがされていますので、それで勘違いすることもあるようです。その金メッキは端子のさびを防ぐことが目的です。

金属の電気伝導度の比較

『理科年表』（文部省・国立天文台編，2000）から金属の電気伝導度をまとめて表にしてみると、次のページの表になります。

銀からアルミニウムまでは、授業書の図と同じですが、アルミニウムから鉄までの間には、たくさんの金属があることがわかります。電気製品で、接点によく真鍮を使っているのを見て「合金は電気抵抗が大きいはずなのに不思議だなあ」と思ってきたのですが、真鍮は鉄よりもずっと良く電気を通すのです。

直径が同じ、ステンレス線や黄銅線が手に入ったら、電気伝導度がどれぐらいなのかをたしかめてみましょう。

- ・自由電子テスター
1.5 ボルト電池 1 個と 2.5 ボルト用豆電球がおすすめ
- ・直径 0.3 ミリの銅線と鉄線
- ・メジャー

- ・直径 0.3 ミリのアルミ線

- ・訂正
授業書の「ステンレス線は、鉄にニッケルやコバルトをまぜた合金です」というのは、「ステンレス線は、鉄にニッケルやクロムをまぜた合金です」の間違いです。

- ・直径 0.3 ミリのステンレス線、黄銅線（手芸用品店にあります）

電気	抵抗率(0度)
銀	1.47
銅	1.55
金	2.05
アルミニウム	2.50
ベリリウム	2.80
カルシウム	3.20
ジュラルミン(軟)	3.40
マグネシウム	3.94
リン青銅	4.00
ナトリウム	4.20
ロジウム	4.30
イリジウム	4.70
タングステン	4.90
モリブデン	5.00
亜鉛	5.50
コバルト	5.60
カリウム	6.10
ニッケル	6.20
黄銅(真鍮)	6.30
カドミウム	6.80
インジウム	8.00
オスミウム	8.10
リチウム	8.55
鉄(純)	8.90
白金	9.81
パラジウム	10.00
ルビジウム	11.00
スズ	11.50
タンタル	12.30
クロム	12.70
青銅	13.60
トリウム	14.70
タリウム	15.00
鉄(鋼)	15.00
白金ロジウム	18.70
鉛	19.20
ストロンチウム	20.00
セシウム	21.00
ヒ素	26.00
アルメル	28.10
ニッケリン	34.00
プラチノイド	36.00
アンチモン	39.00
ジルコニウム	40.00
洋銀	40.00
マンガン	41.50
コンスタンタン	49.00
クロメルP	70.00
インパール	75.00
鉄(鑄)	90.00
水銀	94.10
ビスマス	107.00
ニクロム	107.30

高圧線には、アルミニウムを使っています。高圧線は距離を置いて鉄塔が建てられているため、それに使われるケーブルの重さが制限されま
す。そして、「同じ重さで一番電気を
良く伝える金属」がアルミニウムな
のです。

また、自動販売機は、これらの電
気抵抗値からコインの判別をしてい
るのでしょう。

この表では、ニクロムが最低です
が、水銀もそれに近いものがありま
す。ということは・・・水銀に電気を
流し続けると発熱するかもしれませ
んね。

「IH」と表記される電磁調理器は、
磁力で金属に電流を発生させて発熱
させるものですが、ふつうはステン
レスやホーローなどの鉄の鍋しか使
えません。銅鍋やアルミの鍋だと、
電気を良く通す=電気抵抗が少ない
ために、金属に電流が流れても発熱
しないからなのです。

「金属パイプにネオジム磁石を落
とす」という実験があります。パチ
ンコ玉では、ふつうに落ちるだけ
ですが、ネオジム磁石では、ゆっくり
と落ちてくるのです。これは、磁石
が落下することで磁場が変化し、金
属パイプに電流が流れ、その電流が
発生する磁場が磁石の落下を押さえ
るように働くからです。そして、そ
のとき発生する電流の大きさは、金
属の電気伝導度で決まりますから、

銅パイプの時が一番ゆっくりと落ちることになります。

この実験は、小出雅之さんが「ネオジム磁石と金属」として発表
されたものです。詳細は、小出さんにお問い合わせください。

また、板倉聖宣著『ミニ授業書 磁石につくコイン つかないコ
イン』(仮説社)にもとりあげられています。

・高圧電線

・電磁調理器

アルミ鍋などでは発熱しな
いが電流はたくさん流れるの
で、アルミホイルをのせてス
イッチを入れると、たのしい
ことが起こります。

・同じ肉厚で同じ太さの金属
パイプ(銅, アルミ, 黄銅)

・ネオジム磁石

・パチンコ玉

小出雅之さん

koide@luctin.org

質問2 金属の特徴

金属の一般的な特徴

- ・ 熱をよく伝える

次からの実験に出てきますので、さらっと扱います。「100度の鉄と100度の水は、どちらが熱いか」というなぞなぞがありますが、これも金属の熱伝導の良さから作られたものでしょう。

- ・ 壊れにくい

硬貨と、アルミホイルを用意します。硬貨をアルミホイルで挟んで、綿棒でなぞると硬貨の模様が写し取れます。細かいところは、楊枝を使うと良いです。硬貨は、表面があまりすり減っていない新しいものがよいです。また時間をかけるほどきれいに写し取れます。アルミホイルのどちらの面を使うかでできあがった感じは異なります。つや消し面を使った方がホンモノらしくなります。

また、つりのおもりをハンマーでたたいてくのもたのしいです。「これをハンマーでたたいたらどうなると思う？実は、紙みたいになってしまうんだよ。」という、みなさん興味津々。そして実際にやってみると、「私にもやらせて」とみんなとてもうれしそうにやってくれます。ただ隣の教室から苦情が来そうなので、理科室などでやったほうが良いでしょう。

こうした展延性も自由電子がたくさんある、銀、金、銅が最高で、特に柔らかい金の場合は、1グラムを3000mに引き延ばすことができるそうです。

- ・ 電磁波を通さない

携帯電話をアルミホイルでくるんでしまうと、その携帯電話にかけても「電波の届かないところにいるか、電源が切れています」となって使えません。北海道では、家は断熱材で覆われています。特に、浴室の断熱材は、グラスウールをアルミホイルで覆ったものが使われていることが多く、その場合は、浴室では携帯電話は通じにくくなります。

また、ポテトチップスの袋などのように蒸着されたものの中に携帯電話を入れたときなども調べてみるとたのしいでしょう。その場所での携帯電話基地局からの電波の強さや、携帯キャリアのメーカーによって実験結果は異なります。

金属は光をよく反射するので鏡の原料として使われてきました。一番良いのは、銀の鏡です。銀は反射率が一番良く、明るい鏡が作れるのです。実際、銀はほかの金属と比べて白く見えるほどキラキ

- ・ なぞなぞ

「同じ」というのが答えでしょうが、熱量で考えると、100度の水の方がたくさんの熱量を持っています。また、指先で触ったとして、水はまとわりついてきますから、火傷はより大きくなるでしょう。

- ・ 硬貨

- ・ アルミホイル、綿棒、爪楊枝

- ・ つりのおもり

- ・ ハンマー

- ・ 金床

- ・ アルミホイル

- ・ 携帯電話

- ・ ポテトチップスの袋

- ・ バックミラーなど安物の鏡

- ・ 銀鏡、銀

ラしています。「しろがね」と言われるだけはありません。

CDなども反射層としてアルミニウムが使われています。しかし、その上に色素層をもつ CD-R などでは、高い反射率が得られないので、アルミニウムではなく銀が使われています。

ナトリウムをナイフで切ったりするときは、十分気をつけてください。特に、ナトリウムを水中に入れて爆発させる実験には注意が必要です。米粒大以上のナトリウムを水中に入れると、爆発して飛び散ることがあります。ナトリウムは強アルカリ性ですから、目に入ると失明の恐れがあります。ビデオで見せると良いでしょう。

カルシウムは水に入れると、すぐに泡を出して溶けるのでおもしろいです。マグネシウムなどは火がつくのを見せると良いでしょう。

問題 3 鉄と銅の熱伝導度

便利なのは、電気ポットでお湯を沸かしてから、それに金属棒を入れる方法です。火傷に気をつければ、授業書の図にあるような発泡スチロールは不要です。金属棒は、先端から触ってもらって、「どのあたりで熱くなっているか」というのを感じてもらいます。実験結果ははっきりと出ますので感動的です。

問題 4 アルミの熱伝導度

これは「早くお湯を沸かすには、どんな鍋を使えばよいのか」という問題と同じです。「中華料理は鉄鍋を使う」という意見で予想は揺れるでしょう。

問題 5 熱伝導度は電気伝導度と同じか

「銀の鍋なんて聞いたことがない」という意見で予想は揺れるでしょう。

銅鍋と銀鍋の話

フランス料理レストランの厨房などには、銅のフライパンが並んでいます。また「しゃぶしゃぶ鍋」や「フォンデュなべ」は銅でできているものが多いです。これらは「熱伝導が良く、こげつきにくい」からです。その反対が「土鍋」です。

喫茶店などで夏に冷たい飲み物を出すときに、銅のコップが使われることがあります。銅は熱を良く伝えますから、すぐにぬるくなってしまいそうですが、どうして銅を使うのでしょうか。これは、コップに飲み物の冷たさを伝えるためです。コップを持った手や、コップを触れた唇にも冷たさが伝わって心地よいというわけです。また、ビールのジョッキにも銅が使われることがありますが、これは「冷蔵庫ですぐに冷える」というのも理由です。

- ・ CD
- ・ CR-R か CD-RW
- ・ ナトリウム
- ・ カッター、ピンセット
- ・ カルシウム
- ・ マグネシウム
- ・ ビーカーと水
- ・ ライター
- ・ ビデオ
- ・ 電気ポット
- ・ 金属棒（銅、アルミ、鉄）

- ・ 銅鍋か銅のコップ

でも「銀のなべ」などは、ほとんど見る機会はありません。それはとても高価だからです。しかし、銀のスプーン(1本1万円ぐらい)ならなんとか手に入るでしょう。

高級なレストランなどでは銀のスプーンが使われています。デザートの際に使って驚いたことがありました。手で持っている部分は手の熱が伝わってとても温かくなるのですが、アイスクリームに触れている先端の部分はアイスクリームに冷やされてとても冷たくなっていたのです。これは、ふつうのステンレスのスプーンでは体験できないことなので、とても驚きました。銀の熱伝導性のよさです。

熱を伝えやすい金属

熱伝導率	W・m/K
銀	428
銅	403
金	319
アルミニウム	236
ベリリウム	218
タングステン	177
マグネシウム	157
イリジウム	147
ナトリウム	142
モリブデン	139
亜鉛	117
黄銅(真鍮)	106
カリウム	104
カドミウム	97
ニッケル	94
インジウム	84
鉄	83.5
白金	72
パラジウム	72
スズ	68
タンタル	57
砲金(青銅)	53
鋼(炭素)	50
タリウム	47
白金ロジウム	46
鉛	36
鋼(Ni-Cr)	33
白金イリジウム	31
アンチモン	25.5
鋼(ケイ素)	25
コンスタンタン	22
モネルメタル	21
鋼(18-8ステンレス)	15
ニクロム	13
ビスマス	8.2
マンガン	8
水銀	7.8

次に『理科年表』より作った金属の熱伝導度の表を載せておきます。1位から5位までの順番は全く同じですし、全体的によく似ています。

ただし、「最も熱を良く伝える物質」というと銀ではありません。それはダイヤモンドなのです。熱伝導の仕組みは自由電子によるものと、物質を構成する原子の振動によるものがあります。ダイヤモンドには自由電子がありませんが、原子が互いに深く組み合わさってくっついていて、熱=分子の運動(振動)を素早く伝えるのです。ダイヤモンドはコンピューターのCPUの冷却などに使われています。また、ホンモノのダイヤモンドは、金属以上の熱伝導性がありますので、触るととても冷たい感じがするそうです。

また、実際に熱を伝えるために使われているものは、金属の持つ熱伝導性に加えて、気化熱と凝固熱を利用する「ヒートパイプ」です。これは、銅の棒よりもずっと速く熱を伝えます。

また、アイスクリームをすく

・銀のスプーン

・「アイスモールド」を使うとアルミの熱伝導を実感できます。『たのしい授業』No.269, No.283

冷蔵庫の冷凍室にはアルミの皿が敷かれています。これも急速冷凍のためでしょう。

ステンレスとアルミの皿に氷を載せて、どちらが早く溶けるかを調べてみるのも良いでしょう。

・ダイヤ

・ヒートパイプ
詳細は次の文献。
高橋信夫「ヒートパイプ」『たのしい授業』No.345

・アイスクリームスクープ

い取るアイスクリームスクープにもこの原理を使ったものがあります。ヒートパイプ方式ではありませんが、ステンレスではなく、熱伝導製の良い亜鉛合金を使ったアイスクリームスクープもあります。

質問3 自由電子による説明

自由電子と自由水の話

「砂の団子」の話ですが、北国では、「雪玉」の話にしても良いでしょう。「さらさら雪」では雪玉や雪だるまは作れませんが、それに水を含ませると、大きな雪像まで作ることができます。

金属だって固体の時は、結晶でできています。力を加えると原子が動いて、結晶の形は崩れますが、自由電子に囲まれた中で、次々と滑るように原子が移動して行って、新たな結晶となり、全体として壊れてしまうことはないのです。

水分がある紙粘土は自由に変形させることができますが、乾燥した紙粘土を変形させようとするとう壊れてしまいます。

また、ふつうの煎餅に力をかけると割れてしまいますが、「ぬれせんべい」なら、変形するだけで割れません。この自由電子の実験を味わってみましょう。

考えてみると、人間だって、大切な人を失っても涙が出ている間は、その思いを断つことはできません。でも自由電子に相当する「涙」がなくなったら、「思い」も断ち切ることができるのでしょう。

溶接に限らず、金属は融かしてくっつけると原子が混ざり合った間を自由電子が飛び回るので、ひとつの金属（合金）となってしまいます。それは、ハンダ付けでも同じです。ハンダ付けでも、ハンダとくっつける金属の表面で現時が混じり合い、合金ができています。

時間があったら、ハンダ付けをたのしんでもらうと良いです。ハンダ付けをする金属の表面はきれいにしておかないとなりません。自由電子が良く通れるようにですね。そして、くっつける金属をコテ先で十分に熱しておかないといけません。表面の金属を溶かして合金にするためです。

しかし、現在、一番簡単で強力で金属にくっつける方法は、圧着という方法です。くっつけたい金属の表面をピカピカにしておいて、強い力で押さえつけるだけで、くっついてしまうのです。多量に金属を圧着させる方法として「爆発圧着法」というのがあります。爆薬のエネルギーで瞬間的に圧着してしまうのです。

・雪像

・サンドアート

鳥取には砂で作った作品からなる「砂の美術館」があります。

・紙粘土

・固まった紙粘土

・せんべい

・ぬれせんべい

これは冗談みたいなものです。

・溶接

・はんだづけ

作業 鉛の圧着

この作業は、ちょっとしたコツが必要なようで、なかなかできない生徒さんたちもいます。また上手な生徒さんは、たくさんの鉛をくっつけて芸術作品を作ったりしています。時間があったら、誰のが一番頑丈にくっついているか比べてみるのもたのしいでしょう。

なおこの実験は、鉛よりも軟らかいインジウムという金属を使うと、さらに簡単にできます。インジウムの場合は、底をカッターで削るまでもなく、インジウム同士を押し合わせると、簡単にくっついてしまうのです。

おわりに

みんなでテスト問題作りをしてもらって、テストをしてどれだけ賢くなったか確かめると良いです。その後に感想を書いてもらうといいですよ。

丸山秀一 kasetsu.maruyama@nifty.com

典拠文献

・板倉聖宣「授業書《自由電子が見えたなら》とその解説」『仮説実験授業研究第三期』第2巻，仮説社

・仮説実験授業研究会『授業書《自由電子が見えたなら》』研究会内部の小冊子

参考文献 簡単に入手可能なもののみあげておきます。

・板倉聖宣「くつつくか くつつかないか 原子間力の不思議な手ごたえ 新実験・新発見コーナー1」『たのしい授業』NO.17，仮説社

・西川浩司・授業/松木由貴美編，「公開授業の記録・仮説実験授業 自由電子が見えたなら はじめて出会った小学校4年生との80分」『たのしい授業』No.101

・藤森和子「主婦にとって勉強がたのしーとき 自由電子が見えたなら の授業ってね〜」『たのしい授業』No.108

・板倉聖宣「楽しい授業，楽しい学校 授業の科学と授業書 自由電子が見えたなら 」『たのしい授業』No.109

・板倉聖宣「自由電子が見えたなら の補充問題集」『たのしい授業』No.119

・塚本浩司「自由電子が見えたなら 補充問題用針金セット」『たのしい授業』No.121

・渡辺慶二「何でも子ども中心に 自由電子が見えたなら を体験しながら学ぶ授業運営法」『たのしい授業』No.132

・小原茂巳「にこにこドキドキ授業参観 中2で《自由電子が見えたなら》〔付録〕大人にも参加してもらおうときの心得」『たのしい授業』No.195

・菊池伸浩「町内旅行で《自由電子が見えたなら》」『たのしい授業』No.206

・菊池伸浩「鉛の圧着は大人気」『たのしい授業』No.268i

・「電気を通すプラスチック」 <http://www1.e-science.co.jp/shirakawa/ep.htm>

- ・つりのおもり
- ・カッター
- ・ウェットティッシュ
- ・スタンド
- ・おもり
- ・インジウム

この「授業ノート」の最新版はWEBで

www.kasetsu.net