

中学校理科における寒天を用いた電気分解実験の一工夫

岐阜大学教育学部附属中学校 土田 慎治
 岐阜大学教育学部理科教育講座 (物理学) 澤田 諒太
 岐阜大学教育学部理科教育講座 (物理学) 仲澤 和馬

1 はじめに

学習指導要領解説(平成20年9月)によると、中学校理科1分野下の第6単元「化学変化とイオン」における目標は、「化学変化についての観察、実験を通して、水溶液の電気伝導性や中和反応について理解させるとともに、これらの事物・現象をイオンのモデルと関連付けてみる見方や考え方を養う」とされている。そこで、教科書(啓林館、『未来へ広がるサイエンス』補助教材[平成22年度])においては、「電気を通す水溶液」、「塩酸の電気分解」、「原子の成り立ちとイオンについて」、「電池のしくみ」という順で学習を進めるようになっている。この中の「原子の成り立ちとイオン」の項に関して指導要領解説では、「うすい塩酸や塩化銅水溶液などの電解質の水溶液を電気分解する実験を行い、陽極と陰極に物質が生成することから電解質の水溶液中に電気を帯びた粒子が存在することに気付かせイオンの概念を形成させる」などと例示されている。

生徒は原子の構造の授業を受けた後に、まず塩酸の電気分解の実験を行なう。無色の気体の水上置換であるが、「無色」であるがゆえに、生徒が強い印象を持つようなイオンの概念の学習という点で充分とは言えない。一方、上記補助教材に記載されている塩化銅水溶液の電気分解の実験は、青色の部分徐徐に移動する様子を観察するものであるが、結果がはっきり見えないことも多く、移動がゆっくりであるためそもそも時間がかかる。

短時間に起こる色の変化で電気分解の様子を視認できる実験として、「寒天と BTB 溶液を使った塩酸の電気分解」の実験が提案されている¹⁾。この実験は、ストローの中に BTB 溶液を含ませた寒天を封入し、中央部に開けた穴から塩酸をしみ込ませ、ストローの両端に電極をさして電圧を加えると、BTB 溶液が酸とアルカリで異なる色になることを利用するものであり、イオンの存在を視覚で認識できる。その色の鮮やかさから生徒も興味をもって観察し、考察も行いやすいのではないかと考えられる。ところが、実際に生徒が実験してみると、当初の予想と反対の結果がいくつも生じるような実験となってしまった。BTB 溶液の緑色が青と黄色に変化するの鮮やかなのだが、このままでは教材としては不相当である。そこで本稿では、「寒天と BTB 溶液を使った塩酸の電気分解」の実験の教材化を目指した工夫について述べる。本実験を「塩酸の電気分解」の実験に続いて実施することにより、生徒の理解の更なる定着の促すものである。

2 提案された実験の原理と実験手法の問題点

2-1. 原理

緑色の BTB 溶液は、塩酸などの酸に触れると黄色になり、水酸化ナトリウムなどのアルカリに触れると青色に変色する。塩酸の水溶液に電圧をかけると電気分解され、陽極側にはマイナスの塩化物イオン (Cl^-)、陰極側には水素イオン (H^+) が引き寄せられる。これらはアレニウスの酸・塩基の定義より、 H^+ は酸、 Cl^- は塩基として働く。したがって BTB 溶液を含む緑色の寒天は、陽極および陰極側がそれぞれ青色および黄色に変色するはずである。

さて、提案された実験の手順は次のようである。

- 1) 中央部に切込みを入れたストローに BTB 溶液を溶かした寒天【寒天①】を入れ、その両端を BTB 溶

液を含まない寒天【寒天②】でふさぐ。

2) シャーペンの芯を電極として寒天②に差し込み、電源につなぐ。

3) ストロー中央部の切込みから、ろ紙に含ませた塩酸を寒天①にしみ込ませ、電圧をかける。

以上のようなすを図示すると図1のようになり、しばらくたつと図2のように変色するはずである。

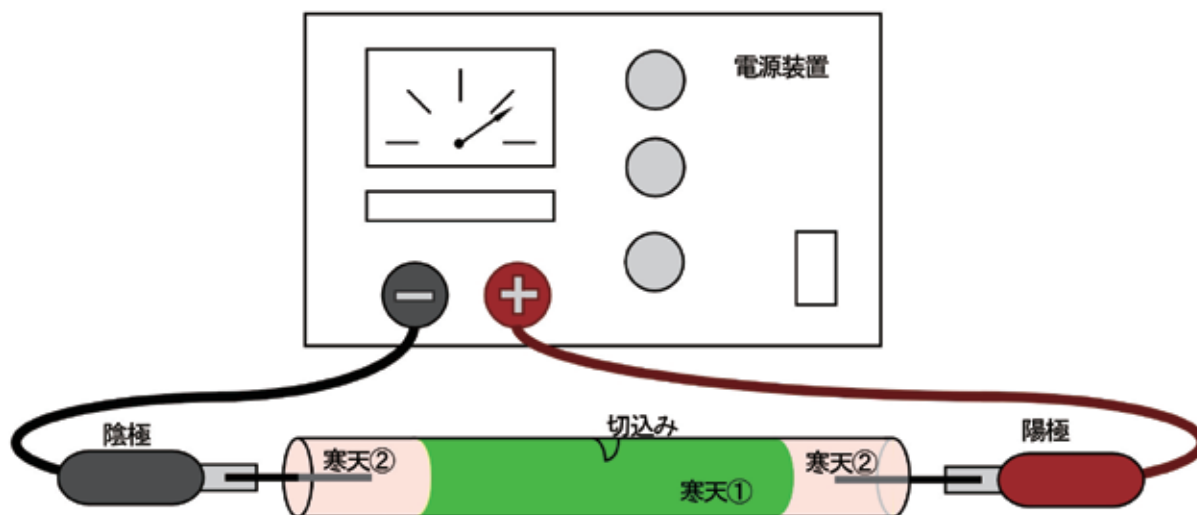


図1. 通常の寒天②で BTB 溶液を溶かした寒天①をはさみ、シャープペンシルの芯を電極として電圧をかける。



図2. 電圧を加えてしばらくたつと、寒天①が変色するようす。

2-2. 実験手法の問題点

前節の手法を中学校で実践すると、意外な問題点が見えてきた。まず、実験の手順にしたがって述べる。

用意したもの

寒天、BTB 溶液、塩酸10%、水、シャープペンの芯、ハサミ、電源装置、ワニ口クリップ付導線



手順1. 水100ml に 1g の粉寒天を入れ、加熱して沸騰したら火を止める。



手順2. 溶けた寒天を別の容器に移しかえ、BTB 溶液2.5cc を加え冷蔵庫で冷やす。



手順3. 塩酸をしみ込ませるために、ストローの中央部に切れ込みを入れる。



手順4. 固まった寒天①をストローに詰める。



手順5. ストローの両端に BTB 溶液を含まない寒天②を詰め、電極として用いるシャープペンシルの芯をさす。(写真上) 電極と電源を導線につなぎ、塩酸に浸したろ紙を切込みにかぶせる。(写真下)

以上の準備をすませて、電源のスイッチいれ電圧を18Vにセットした。

実験結果は、対照的なものとなった。すなわち図3に示すように、予定通り陽極側が青で陰極側が黄色のグループ、一方それと逆に、陽極側が黄で陰極側が青色になったグループが出た。

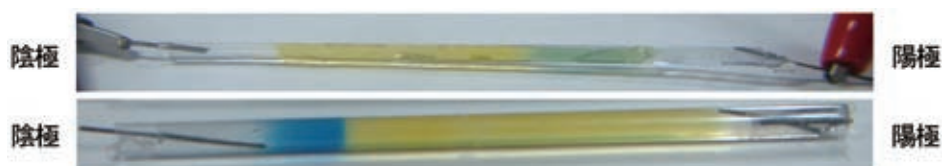


図3. 色が正反対になった結果。どちらの写真も、右が陽極で左が陰極である。

これらの結果から次のような問題点が見えてきた。

- (1) 導線のしなやかさをもってしても、ストローは軽すぎて扱いにくい。
- (2) また、電極である芯が容易に折れてしまう。たとえ折れなくとも動いてしまい、寒天②を壊しやすく(図3上図の陽極付近を参照のこと)、導電性が悪くなる。
- (3) さらに、電極が寒天①まで容易に達してしまう。すると寒天①の中で水の電気分解が起こり、陽極側に水素イオン、また陰極側に水酸化物イオン(OH⁻)が多くなり、色の逆転が起こると説明される²⁾。この色の逆転は、塩酸水溶液を加えずに行った実験でも起こることを確認した。電極の位置、大きさおよび寒天①の量などの最適化が必要であろうことが推察される。

そこで、図4に示すように、ストローを固定し電極を皮をむいたエナメル線に変えるなどいくつかの改善

を試みたが、やはり電極が刺さりすぎるなど扱いにくさには変わりはなく、予定の結果が得られなかった。また寒天①の BTB 溶液を高濃度にしても、大きな改善は見られなかった。

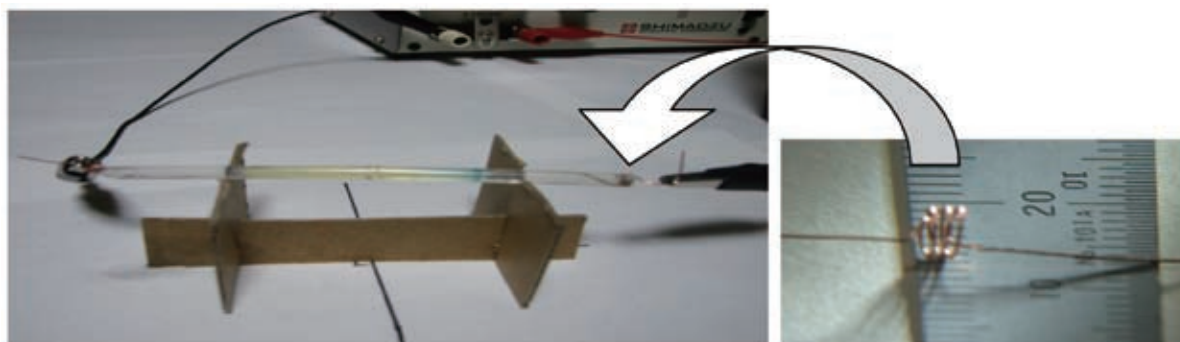
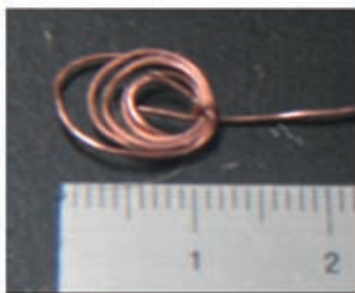


図 4.ダンボールで作った台にストローを固定し、電極に被覆を剥いだエナメル線を使用した。ストローの中で動くのを抑えるように、図中の矢印で示すようにエナメル線の端には「輪」を作った。

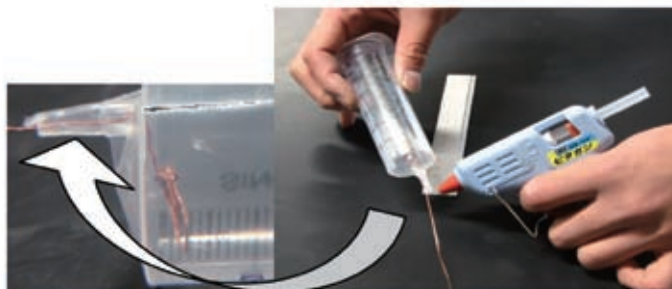
3 シリンジを用いた電気分解の実験教材

3-1. シリンジ教材の作り方 (1セット分)

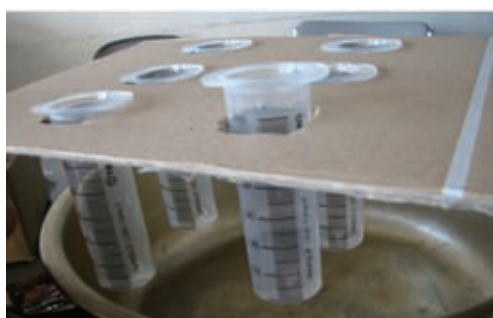
前節問題点 (1) および (2) を克服するものとして、容器がしっかりしており、安価で容易に入手できるプラスチック製のシリンジ (50ml 注射器)³⁾ に着目した。使用法の手順を次に示す。



手順 1. やすりで皮をむいたエナメル線を写真のように巻き、電極を作る。



手順 2. シリンジに電極を通し、グルーガンで固定する。これを 2 本用意し、1 本の中央部には塩酸注入用の穴を開ける。



手順 3. グルーガンで固定した電極を通さないシリンジに BTB 溶液を含む寒天①を、電極を通したシリンジ 2 本に寒天②を注ぎ、ナベに浸した冷水につけて寒天が固まるのを待つ。



手順 4. 寒天が固まったら、寒天①を取り出して先を平面に切り落とし、穴を開けたシリンジに寒天②と隙間ができないように入れる。残りの寒天②を取り出し、寒天①と隙間ができないようにシリンジに入れる。

以上の手順で作成した試料を図5に示す。



図5. シリンジ内に封入した寒天

作成した試料の穴に10% 塩酸を2滴たらして18Vの電圧をかけ、電気分解を行った。このときの電流は3mAであった。時間経過とともに色が変化するようすを図6に示す。

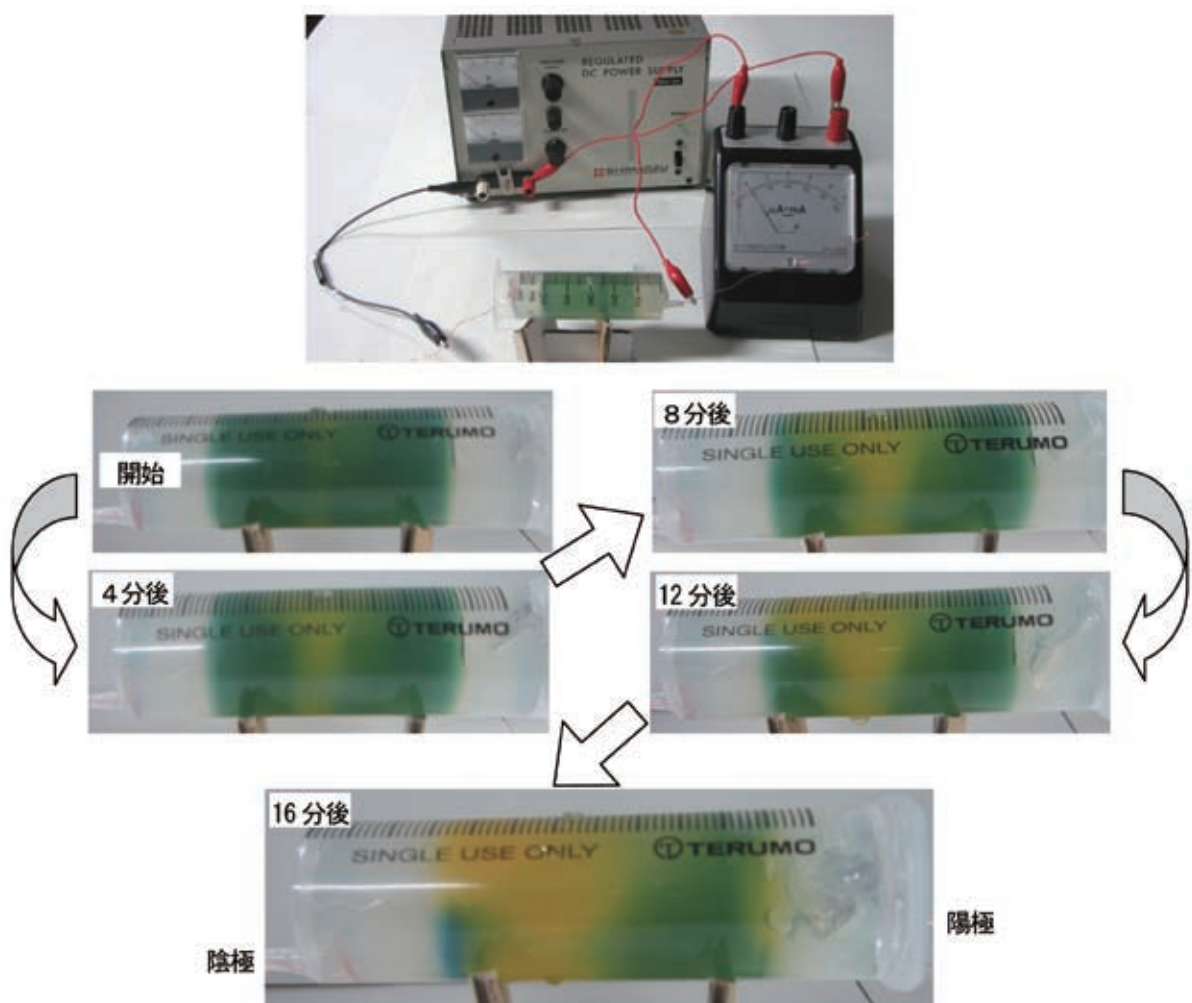


図6. シリンジを用いた電気分解実験装置と寒天の色の変化。

上記の図6を見ると、陰極の下の部分がわずかに青色を帯びているが、陽極が黄色に変化することはなくなった。また、扱いやすさは各段に向上した。そこで、電極の大きさや位置、寒天①の量を変えて、色の変化がもっともよく見える条件を見つけることにした。

3-2. 電極の大きさ、位置および寒天①の量の最適化

== 電極の大きさ ==

電界がシリンジ内全体に作用するように、図7に示す大きさの電極を用意した。これは、前節3-1の手順1で示したものの約2倍の直径をもつ。電極の位置を寒天①から20mm、寒天①の量を20mlとして、2つの電極を用いて電気分解を行った（印加電圧18V）結果を図8に示す。

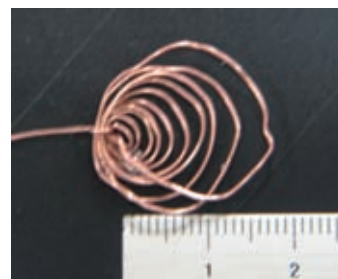


図7. 直径約2 cm に大きくした電極。

電極を大きくすると、8分という短時間で色の変化が確認できた。このことから電極は大きいほどよいことがわかった。

また、小さい電極を用いた場合でも陰極付近での青色への変化はほとんど見られなかった。先の図6の場合との唯一の相違は、寒天①の量である。



図8. 電極の大きさの相違の結果。左の電極は小さく（直径約1 cm）、右は大きい電極（直径約2 cm）を用いた。電気分解を開始してからの経過時間は、左が14分、右が8分である。

== 電極の位置と寒天①の量の最適化 ==

BTB 溶液を含む寒天①の量およびそこから電極をどれだけ離すかは電界の大きさに関わるので、最適化が必要である。ここでは、寒天①の量を20ml および30ml とした場合に、寒天①と電極との距離を変化させ、印加電圧18V で電気分解を行った。時間とともに色が変わるようすを表1 および表2 に示す。

表1 および表2 の結果によると、距離が10mm では寒天①の量に無関係に陰極側が青色になり不適である。寒天①が20ml で距離が15mm の場合もわずかではあるが陰極側が青みをおびるので最適ではない。寒天①を20ml でかつ距離を20mm にすると12分くらいでも陽極が青色、陰極が黄色に変色したことがわかる。一方、寒天①を30ml にした場合には、距離が15mm および20mm の場合とも20ml の場合に比して色の変化に要する時間が長くなっている。したがって、中学校の時間の限られた実験には不適當であると考えられる。

以上の点を総合すると、50ml のシリンジを用いた本実験の場合には、寒天①の量は20ml とし、ここから20mm 離れたところに両電極を配置するのが最もよいと考えられる。

表 1. 寒天①を20mlとして、寒天①と電極との距離を変化させたときの電気分解のようす。



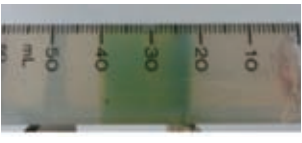
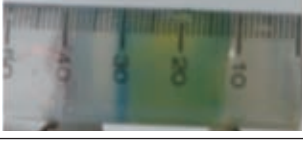

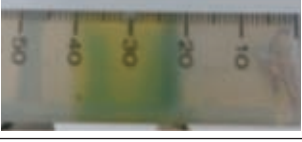

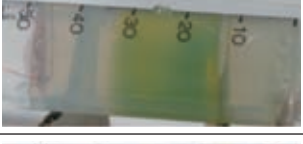
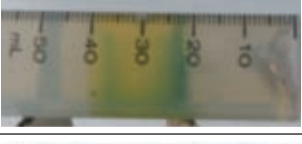
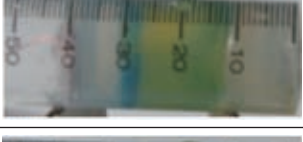

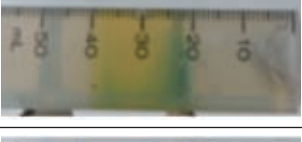
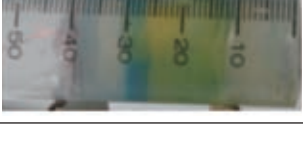
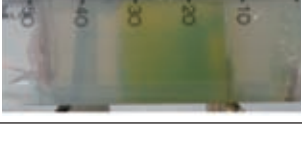
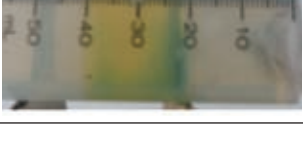


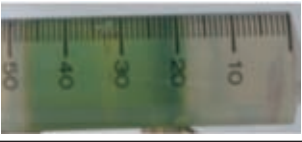

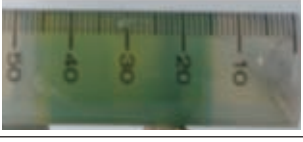
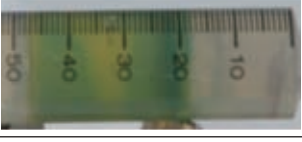

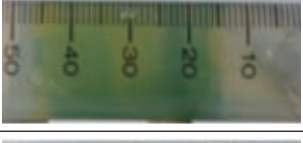
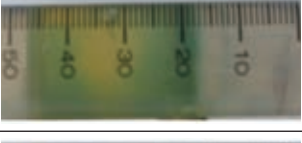
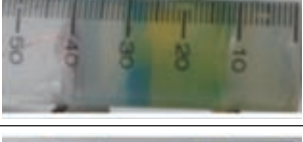

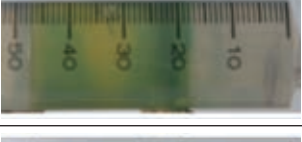

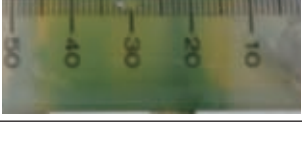
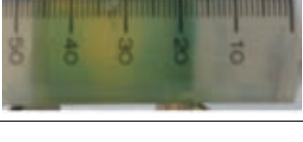
経過時間 (分)	寒天①と電極との距離 (写真の右側が陽極、左側が陰極)		
	10mm	15mm	20mm
開始直後			
4分後			
8分後			
12分後			
16分後			

表 2. 寒天①を30mlとして、寒天①と電極との距離を変化させたときの電気分解のようす。

経過時間 (分)	寒天①と電極との距離 (写真の右側が陽極、左側が陰極)		
	10mm	15mm	20mm
開始直後			
4分後			
8分後			
12分後			
16分後			

4 まとめ

中学校理科の電気分解の実験に用いる目的で、BTB 溶液入りの寒天中で正（負）イオンが陰（陽）極に移動するようすを色の変化で示す教材を工夫し、再現性のあるものに仕上げた。その特徴は、しっかりしたシリンジで軟らかい寒天を保護し、寒天の量と電極の位置とを最適化したことにある。今後、イオンの移動をさらに見やすくするべく、電極の形や水溶液の滴下方法などの改善を進めるものである。

引用文献等

- 1) 第57回全国中学校理科教育研究会（京都大会 /2010年）：ブース体験型発表会提案資料、「目で見える水素イオン・水酸化物イオンの動き」（東京都品川区立小中一貫校 八潮学園 牧野順子）、「手軽な道具で教具の開発」（和歌山大学教育学部附属中学校 矢野光博）
- 2) 長沢先達、鈴木美智代、「寒天ゲルを用いた電気分解の黄色変化について」、福島大学教育実践研究紀要 第12号、(1987) p.15。
- 3) テルモシリンジ50ml [SS-50ESz]。60ml までの表示がある。