

身近なものを活用した理科の観察・実験の工夫 ー吸水性高分子を使った教材の在り方ー

研究指導主事 植村 泰行

Uemura Yasuyuki

要 旨

平成20年に新学習指導要領が公表され、理科としては、日常生活や社会との関連を十分に図った上で学習を進め、自然環境と人間とのかかわりを一層重視することが求められている。本研究では、理科の原点を見つめ直すとともに身近なものに着目し、環境にやさしい教材の在り方について提言する。

キーワード： 日常生活、教材、環境、新素材、高分子、イオン

1 はじめに

理科では、子どもが具体的な事物や現象に直接的・間接的に触れ合うことによって、その素晴らしさやぬくもりを体験し、感動することが肝要であると考え。理科の授業づくりの基本として、教員が創意工夫をし身近なものを使った教材を活用することが望まれる。

また、最近では、環境破壊につながる様々な問題が生じている現実を踏まえ、私たち一人一人が環境とのかかわりについて理解を深め、豊かな自然の価値について認識を高め、環境に配慮した生活や責任ある行動をとる必要があると考え。これからの環境教育は、自ら体験をすることにより、日常生活を送る上で実感を伴った「知」をはぐくむと同時に、小・中・高等学校へと校種間のつながりをもたせながら深化・発展させることが必要不可欠であろう。

2 研究目的

身近なものを活用した教材・教具の開発と、それを活用した観察・実験を盛り込んだ授業づくりについて研究する。これは、日常生活と社会との関連を意識した内容の中で「学ぶ意欲」を高めるだけでなく、基礎的・基本的な知識・技能の習得、そして科学的思考力の育成につながる授業づくりにも役立てようとするものである。本研究では身のまわりに存在する新素材をどう生かし、今後の授業にどのように活用できるかを検証していきたい。

3 研究方法

- (1) 身近なものをどう活用するか
- (2) 新素材を活用した電気分解
- (3) 燃料電池の教材化に向けた工夫・検討
- (4) 新学習指導要領への本研究の活用

4 研究内容と結果及び考察

- (1) 身近なものをどう活用するか

「ここに、見た目がすべて同じ白い粉末が4種類あります。砂糖、食塩、かたくり粉、そ

して、市販のおむつの中に含まれる粉です。どう区別しますか？」という教員の発問があったとしよう。未知の試料を直接口に入れずに判断することが条件である。この区別は中学校の教科書にもよく出てくる「いろいろな物質とその性質」の分野で、ものの特性を生かした見分け方の学習である。一般的には、におい、手触り、水溶性、熱による変化等を試すことが予想される。子どもであれば、ルーペでさらに拡大して観察することも考えるであろう。そこで、同じ条件下で水に溶かしてみると、市販のおむつの中に含まれる粉のみが、著しく体積を増大させる。この粉は、実は理科の教材に活用できて、しかも新素材として注目されているものである。最近の科学技術の進歩で、身のまわりには教材として活用できる新素材があることが分かる。

ア 新素材について

教科書『新しい科学1分野（下）』には、新素材は天然にない「人工的につくられた素材で、木や紙、金属などの自然の素材に比べて機能性が高く、科学技術の発展につながる非常にすぐれた性質をもつものが多い」と記されている。具体例としては、炭素繊維、ファイナセラミックス、超伝導物質、高分子素材、形状記憶合金や樹脂、光触媒である酸化チタン、光ファイバー、カーボンナノチューブなどが挙げられている。そして、これらの新素材を使った機器が研究・開発されTV（テレビジョン）、PC（パーソナルコンピュータ）、携帯電話、自動車、電車、飛行機に至るまで、生活環境は豊かになる一方である。

本研究では、新素材の中でも高分子素材の一つに着目し、環境教育の視点から教材を検討した。高分子化合物の中には、日常使われるPE（ポリエチレン）やPET（ポリエチレンテレフタレート）をはじめ、イオン交換樹脂、感光性高分子や吸水性高分子があり、高等学校の理科でも取り上げられている。

イ 吸水性高分子について

本研究は新素材の一つで、吸水性高分子（別名：高吸水性ポリマー、吸水性ポリマー、高分子吸収体、高分子吸水ポリマー、Superabsorbent polymer〔SAP〕等）を教材化し、それを活用した観察・実験を考案した。高等学校の理科では、高分子化合物など日常生活と特に関連の深いものについては、反応や構造、性質、用途に触れる学習を行っている。

吸水性高分子は、超吸水性樹脂であるポリアクリル酸ナトリウム $(CH_2CHCOONa)_n$ を成分としている（図1）。親水基（カルボキシ基）が多く含まれるため自重の何倍（数十～数百倍ともいわれる）もの水分子を取り込むことができる。水を含むと、電離してできたマイナスイオンである $-COO^-$ どうしが反発して構造にすき間ができ、その中に大量の水分子が入り込むため体積を増大させ、流動性がほとんどなくなり、その状態が安定化する。本来は線状構造であるが、側鎖に親水基（カルボキシ基）をもった高分子であるため、架橋をつくることにより3次元構造になるので、水を含んでも溶けることはない（図2）。

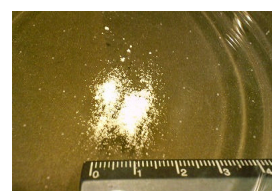


図1

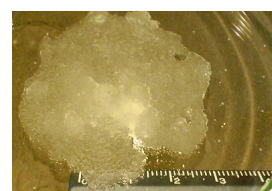


図2

この性質を利用したものに、紙おむつをはじめ、携帯用トイレ湿布薬、植物観賞・園芸用の土壌保水剤、保冷剤があり、さらに保水剤として砂漠の緑化運動にも活用されている。また、吸水性高分子の吸着能力を利用し、有害物質の除去などに活用することも開発されている。

身近なものを利用して、吸水後の吸水性高分子から水を取り出す方法は大きく二つある。

一つめは、食塩を加える方法である。食塩を加えることにより上記で説明した3次元構造の状態が壊され、吸水性高分子内の水が放出されてゾル状の溶液になる。その様子は、ちょうどナメクジに食塩をかけた状態と似ていて、外液と浸透圧を等しくしようとするため水を含んだ吸水性高分子内から次々と水がしみ出てくる(図3)。さらに反応性を高めるためには、1価の食塩より、2価である塩化カルシウム等を使う方法がある。

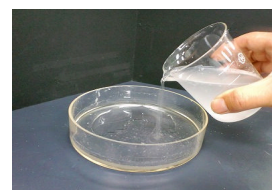


図3

二つめは、トイレ用洗剤(塩酸を含むもの)を加える方法である。塩酸(H^+ と Cl^- に電離)を含む洗剤を加えると、水を含んだ高分子吸水ポリマー内の Na^+ と塩酸内の Cl^- が結びついて $NaCl$ が生じ、全体のイオン強度が弱まり、吸水力が低下する。結果として、架橋をつくっている3次元構造が解離され、ポリマーからモノマーとなり、全体として流動性もよくなり、水が分離できる。

観察・実験後の処理方法は、水を含んだ吸水性高分子自体をそのままジッパー付PE袋内に入れ、保冷剤として冷蔵庫等に保管したり、場合によっては土壌保水剤として活用したりすることもできる。また、上記説明のように、吸水性高分子から水分を十二分に取り出し下水処理することもできる。

(2) 新素材を活用した電気分解

吸水性高分子を利用した電気分解については、越坂氏(2002)の研究を参考にした。越坂氏は植物色素ゲルを電解質として種々の電気分解を研究している。今回は、吸水性高分子を用いて電気分解後、さらに環境にやさしい燃料電池の開発に着手した。以下ア～ウの内容は、教科書等に記載されている電解質溶液の中から、無色の溶液を選定したものである。工夫したことは、無色の溶液を活用することで、鋭敏な呈色反応の様子を観察しやすくする点である。本研究は身近なものを利用した観察・実験ということを考え、電極は鉛筆の芯(炭素棒)を用いる。鉛筆の芯は、多くの物質(燃料電池においては燃料となる気体)と接触できるような多孔質で吸着しやすく電気伝導性を有している利点がある。電解質に混合する吸水性高分子は、市販のおむつから取り出す(一つのおむつから約5g)。

酸・アルカリの判定は、紫キャベツ、BTB溶液、フェノールフタレイン溶液、メチルオレンジ溶液、マローブルー(ハーブティーの一種)からの抽出液を指示薬として用いる。共通条件として、ビーカー(200mL)に1gの吸水性高分子を入れ、その上に以下のア～ウの各水溶液200mLを吸収させ、9V電池で3分間電気を流す(または手回し発電機を利用することにする)。その後、各指示薬で反応性を確認する(図4～図11)。

ア 水 H_2O の電気分解

陽極〔酸化〕： $H_2O \rightarrow 2H^+ + 2e^- + 1/2O_2 \uparrow$

陰極〔還元〕： $2H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^- + H_2 \uparrow$

両極付近で気泡が発生していることが確認できる。陽極付近は酸素 O_2 が発生し、陰極付近では水素 H_2 が発生した。水 H_2O はわずかではあるが、 H^+ と OH^- に電離しており、陽極では反応がすすむにつれて H^+ が増え酸性を示し、陰極では OH^- が増え塩基性を示した。指示薬については、紫キャベツ(図4)、BTB溶液(図5)、フェノールフタレイン溶液(図6)、メチルオレンジ溶液(図7)、マローブルー(図8)である。

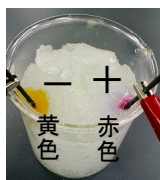


図4

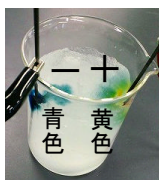


図5



図6



図7

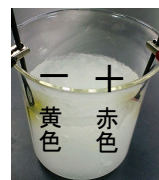
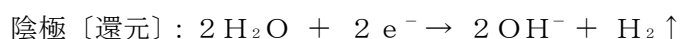
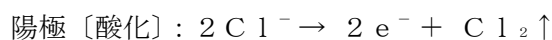


図8

イ 食塩水 NaCl aq (10%) の電気分解 (図9)



指示薬による確認を行うが、フェノールフタレイン溶液の呈色反応の場合、陰極では無色から赤変する様子が明確に分かり塩基性を示した。一方、陽極では、ヨウ化カリウムデンプン紙を紫色に変色するも、すぐさま、塩素の漂白作用で無色になってくる様子が分かる。塩素ガスの黄緑色気体を確認できるとともに、特有の鼻にツンとくる特異臭でも検証できた。ただし、塩素は有毒な気体であるためドラフト内で観察・実験することが原則である。

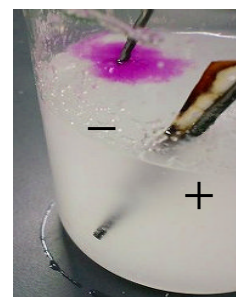
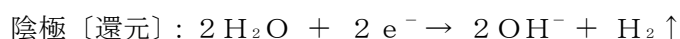
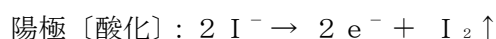


図9

ウ ヨウ化カリウム水溶液 KI aq (0.1mol/L) の電気分解



陽極では、生成するヨウ素が褐色を呈するので、すぐさま確認できる (図10)。念のため、でんぷん水溶液を陽極付近にスポイトを用いて滴下すると青紫に変色し、ヨウ素の存在が検証できた (図11)。

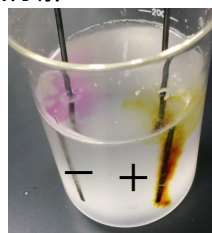


図10

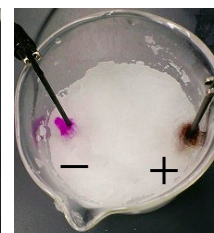


図11

陰極ではフェノールフタレイン溶液を、無色から赤変し、塩基性であることを示した。

以上ア～ウの観察・実験により吸水性高分子を利用すれば、手軽で容易に電気分解の様子が確認できる。反応後もしばらくの間は安定状態であるため、さらに一步進めた酸化還元反応 (電気分解の逆反応) の研究を行うことにした。

(3) 燃料電池の教材化に向けた工夫・検討

燃料電池は、水の電気分解の逆の原理で水素と酸素を化学反応させ、その燃焼エネルギーを電気エネルギーと水に変換させる装置である。金属以外の物質が起こす酸化・還元反応を利用した化学発電システムで、生成物は水しか生成されない。燃料となる水素は、メタノールをはじめLPG (液化石油ガス) や天然ガスを改質して得ており、酸素は空気中から得ている。環境にやさしい燃料電池は、19世紀グローブ卿 (英国) によりその原理が発見された。現在、実用化されている燃料電池の種類は、主に6種類 (i) アルカリ型、(ii) リン酸型、(iii) 固体高分子型、(iv) 熔融炭酸塩型、(v) 固体酸化物型、(vi) ダイレクトメタノール型と考える。燃料電池の研究開発は、実験を繰り返し試験的な段階から一步進み、実証・実用化に向かっている。燃料電池は廃熱利用が可能であり、かなり効率のよい電池であるため、今後、都市エネルギーの供給システムとして考えられている。特に固体高分子型の燃料電池は、未来の究極エコカーの実現を助けるものとして期待されている。

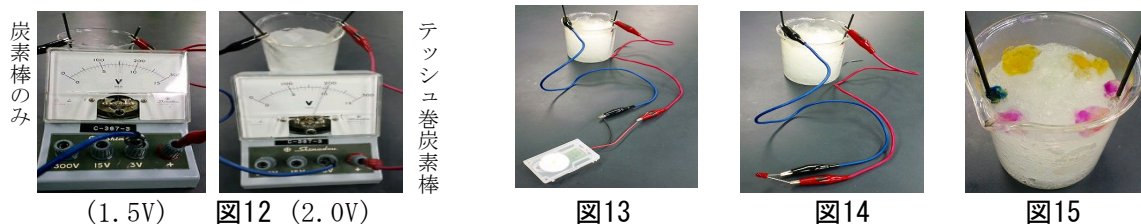
教科書等の掲載例では、一般に燃料電池の電解液としては (i) アルカリ型 KOH aq 、

(ii) リン酸型 H_3PO_4 a q の2種類が取り上げられている。(i) 両電極付近のイオン反応は、正極： $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$ で、負極： $2\text{H}_2 + 4\text{OH}^- \rightarrow 4\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^-$ である。一方、(ii) は、正極： $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ 、負極： $2\text{H}_2 \rightarrow 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$ で示され (i) (ii) とともに、電池反応全体としては水素：酸素＝2：1の割合で化合した $\text{H}_2 + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ となり、環境にやさしいクリーンな水のみを生成したことになる。

ただし、上記の実験を授業で行うことは、電解液が強塩基性であり皮膚を侵すなどの危険性を伴うため、安全メガネや保護手袋等を使用することが不可欠である。また、反応が遅く、電極（白金）自体が高コストであることや反応槽の製作（高分子膜や触媒の存在）が困難であるため一般化されていない。実験室では、比較的安全とされる中性電解質として NaCl a q を使用することがあるが、有毒な塩素ガスを発生してしまう危険性がある。

そこで、本研究では前述(2)アの結果を踏まえ、身近な新素材である吸水性高分子を利用することを考えた。電解液が酸性・塩基性を問わず、単に水を吸水性高分子に含ませることで、電解液として活用できることを実証したい。基本的には、身近なものを利用した観察・実験という設定内容ゆえ、電極には電気分解時と同様に、鉛筆の芯（炭素棒）を用いた。工夫したことは炭素棒電極にテッシュペーパーを巻くことで、電圧がさらに高くなる点である（図12）。これは炭素棒自体の表面積に変化はないが、テッシュを巻いたため、発生気体が活性化した状態で遊離せずに電極に付着するためと考える。したがって、燃料電池はテッシュを炭素棒に巻いた方が効果的であるが、授業では電極として炭素棒のみの方が、化学変化の様子を観察しやすく適していると判断できる。電気の流れの確認は、電子メロディー音（1.2～3.6V用）やLEDによる発光（低電圧発光ダイオード1.7V用）で行い、どちらも反応があった（図13・図14）。

水を電気分解することで、陽極に酸素、陰極に水素が発生し、その後、電源装置をはずして陽極を（酸素発生）側を正極、陰極（水素発生）側を負極として接続すると、負極側の水素が電離して電子を発生し、その発生した電子が正極に導線を伝わって移動し、正極側の酸素が電子を受け取る。この原理で燃料電池ができる。水の燃料電池は正極： $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ 、負極： $2\text{OH}^- + \text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$ のイオン反応式で示される。



(4) 新学習指導要領への本研究の活用

中学校理科において、新学習指導要領の移行措置で「イオン」が平成21年度から復活する。「イオン」はゆとり教育と呼ばれた現行学習指導要領では未履修分野であるが、新学習指導要領で採用されたことは、小・中・高等学校の学習内容において、縦のつながりを意識したものであると考える。本研究は、小・中・高等学校で段階的な学習の定着をはかることができるように観察・実験内容を総合的にとらえた。具体的には以下の単元で活用できる教材だと考える。電気の利用（小6）で、手回し発電機などを使い、電気は作りだしたり蓄えたりすることができること。電気は光、音、熱などに変えることができること。身のまわりには、電気の性質や働きを利用した道具があることの学習につなげることができる。身の

まわりの物質（中1）、電流とその利用、化学変化と原子・分子（中2）、化学変化とイオン（中3）では、水溶液の電気伝導性、酸・アルカリとイオン、酸化還元反応や化学変化と電池の学習につながる。さらに、物質の変化（高校化学）では酸・塩基、酸化と還元、電池、高分子の学習に活用できる。酸化還元反応を観察・実験などを通して探究し、基本的な概念や法則を理解させるとともに、化学反応をエネルギーの出入りと関連付けて考察するような授業の展開として、学校や子どもの実態に応じて、より適切な時期に教材として活用できることであろう。

5 成果と今後の課題

本研究では、高分子化合物である吸水性高分子の特徴を学べるだけでなく、その性質を利用することによって、さらに電気分解や電池の学習まで発展できることを検証した。吸水性高分子は、高等学校理科の高分子化合物の分野で、新素材の一つとして履修する内容であり、日常生活では一般に市販のおむつや植物園芸用の保水剤としての用途があると広く知られている。その吸水性高分子が、本研究を進めることにより、実は電池にもなりうるという意外性を検証することができた。電気分解や燃料電池の電解液として、単に吸水性高分子を水に含ませた観察・実験の教材化には、以下の長所が挙げられる。①水を含んだ吸水性高分子は、両イオン（陽・陰）を含むため電気伝導性があり、新たに電解質を加えなくても、水の電気分解が迅速にしかも容易にできる。また、電気分解後は燃料電池に活用できる。②流動性がほとんどないゲル状となるため、電極自体を固定する必要がなく簡単に利用できる（一つのビーカーで、6～8箇所の電極が可能。つまり3～4回の観察・実験ができる → 図15）。また電極をビーカー等の壁面付近に準備するだけで化学変化の様子を観察しやすく、実験後もしばらく安定している（空気酸化しやすいアントシアンを含む植物色素もゲル中では安定化）。

燃料電池が、地球の自然環境にやさしいクリーンな水のみを生成するため、環境教育の視点からも教材化できることを検証した。H₂とO₂を結合することにより水と電気エネルギーを得るという基本的な発電構造からは、有毒ガス（NO_xやSO_x等）や地球温暖化ガス（CO₂等）は全く排出されないが、本研究では燃料電池の基本原理の確証できたにすぎず、まだまだ一般市場に広がる実用化段階につながるものではない。

今後、私たちは地球に存在する化石燃料の有限性やこれからのクリーンエネルギーについて研鑽を積み、子どもが自ずと環境問題への興味・関心が高められる授業づくりを工夫・展開することが大きな課題であろう。

参考文献

- (1) 文部科学省（平成20年）『小学校学習指導要領解説 理科編』大日本図書 pp. 57-60
- (2) 文部科学省（平成20年）『中学校学習指導要領解説 理科編』大日本図書 pp. 48-57
- (3) 三浦登・岡村定矩ほか著（2006）『新しい科学1分野（下）』東京書籍 pp. 106-107
- (4) 井口洋夫・木下實ほか著（2006）『化学I新訂版』実教出版 pp. 132-139
- (5) 数研出版編集部編（2007）『フォトサイエンス化学図録改訂版』数研出版 p90. p176. p190
- (6) 越坂直広著（2002）「高吸水性ポリマーを利用した電気分解－植物色素ゲルを電解質として－」『研究紀要第14号』北海道立理科教育センター pp. 20-25
- (7) 日本化学会訳編（1991）『身近な化学実験I－中・高校生と教師のために－』丸善 p. 137