

導電性高分子に関する 学習プログラムの開発と授業実践

ーサイエンス・パートナーシップ・プログラム（SPP）による高校・大学との連携を活用してー

伊藤 崇由

当センターでは、平成 23 年度より触媒に関するサイエンス・パートナーシップ・プログラム（SPP）を実施している北海道苫小牧西高等学校と連携し、本年度のSPP事業に一部参画して、導電性高分子に関する学習プログラムの開発協力や、質問紙調査による学習プログラムの有効性に関する評価を行った。これらについて以下に報告する。

[キーワード] 導電性高分子 SPP 日常生活との関連

1 教材開発の背景

筑波大学名誉教授の白川英樹博士が発見した導電性高分子は、駅券売機やスマートフォンなどのタッチパネルやパソコンのバックアップ電池など、現代の生活に欠かすことのできない素材として利用が拡大している。白川博士らは、「導電性高分子の発見と発展」に対する功績で、2000年にノーベル化学賞を受賞した。教科書においては、中学校3年の「科学技術と人間」や、高等学校化学の「合成高分子化合物」など、数多くの単元で取り上げられている^{※1・2}。

近年、白川研究室の出身である津山工業高等専門学校（現 津山大学）の廣木一准教授が、導電性高分子の1つであるポリピロールの合成に関する小・中学生向け教材を開発し、白川博士らと日本科学未来館などでワークショップを行っている^{※3}。

当センターでは本年6月、北海道高等学校理科研究会化学研究チームと合同で廣木准教授を招き、ポリピロールの合成法および指導法の研修会を開催した。指導頂いた方法（以下「廣木法」とする。）は、安全かつ簡便に導電性を確認できる実験であることから、当センターでは、廣木法をもとに研修講座等での展開を念頭においた導電性高分子教材の改良を進めていくことにした。

2 連携実施の背景

北海道苫小牧西高等学校は、平成 23 年度より北海道教育大学函館校の松橋博美教授と連携し、触媒に関する内容でSPP事業を実施している^{※4}。SPP事業では、ゼオライトを用いたエチレンの生成や蛍光物質フルオレセインの合成、酸化チタンの光触媒反応などの実験について、日本が世界をリードしている科学技術の1つである「触媒」を日常生活と結びつけて理解できるよう、講義を絡めて実施したり、福島第一原発事故後の放射性物質の除染に関するモデル実験を行い、科学技術の役割を実感させる授業を展開したりすることで、生徒の科学技術に対する興味・関心の伸長に大きな成果を上げている^{※5}。

北海道苫小牧西高等学校と北海道教育大学函館校は本年度もSPP事業で連携していることから、当センターでは同事業に一部参画し、導電性高分子に関する学習プログラムを、松橋教授とともに高等学校向けの教材として開発するとともに、SPP事業で実施することにより、その効果を検証することとした。

3 ポリピロールの合成についての教材開発

廣木法を高等学校で展開するには、触媒として塗布する塩化鉄（Ⅲ）溶液の乾燥時間を縮め、説

明を含めた実験時間を50分に収めるなど、種々改良を加える必要がある。そこで、松橋教授の考案により、OHPシートをスライドガラスに変更し、ホットプレートで乾燥できるようにするなどとした以下の教材を、SPPで実施することとした。

準備

ピロール、塩化鉄(Ⅲ)・6水和物、エタノール、洗濯のり(PVA)、スライドガラス、試験管(直径18mm)、SMサンプル瓶(200mL)、ホットプレート、ピンセット、スポイト、導電チェッカー、キムワイブ

方法

- 1 塩化鉄(Ⅲ)・6水和物を洗濯のりに溶かし、エタノールを少しずつ加え、溶液にする。(1.5～5%の塩化鉄(Ⅲ)溶液とする。→触媒の完成)
- 2 キムワイブを底に合う大きさに折ってサンプル瓶に入れ、ピロール約0.5mLでまんべんなく湿らせ、ふたをして放置する。気温が低いときは手やドライヤーで軽く温める。
- 3 1をプラスポイトで少量取り、スライドガラス上に数滴のせる。
- 4 3を試験管を使って触媒を薄くのぼし、ホットプレートに載せてしっかり乾燥させる。乾くと触媒が塗られた部分が薄黄色になる。
- 5 導電チェッカーを薄黄色になった部分にあて、電気が通らないことを確認する。
- 6 4のスライドガラスを、2の中に立てかけるようにして入れてふたをし、薄黄色の部分が濃緑色に変わるまで置く(1～2分)。
- 7 6のスライドガラスを取り出し、放置して乾かす。
- 8 導電チェッカーを濃緑色の部分にあて、電気が通ることを確認する。

4 SPP事業での実施状況について

本実験は、SPP講座の2回目(9月11日(水))に、北海道苫小牧西高等学校化学実験室で実施した。受講生徒は3年化学I選択者24名(男子11

名、女子13名)である。なお、同校は普通科高校であり、受講生徒の希望進路は大学・看護学校、専門学校、就職と多岐にわたっている。

(1) 事前アンケートの実施結果について

実験の実施に先立ち、8月21日(水)の事前指導の際に、事前アンケートを実施した。

講座で行う実験に関連した人物や言葉についての質問では、「業績や内容まで知っている」または「名前は知っている」ものとして、「ノーベル賞」を全員が挙げた。一方でこのほかの人名や語句は知っている割合が低く、「白川英樹」は26%、「導電性」は17%、「セレンディピティ」は13%であった。理科や自然科学に関する考えに関する質問では、「理科の実験は好きである」、「理科の授業は好きである」について、「よく当てはまる」、または「やや当てはまる」と肯定的に回答した生徒はそれぞれ95%、75%と高いのに対し、「理科の授業は大切だ」、「理科を勉強することは将来の自分にとって大切だ」について、肯定的に回答した生徒はそれぞれ55%、45%とやや低い結果になった。また、「知りたいことや気になったことを先生やまわりの人にすぐ聞く」、「自然や科学技術に関する番組を見るのが好き」という割合はともに25%と低い結果になった。

(2) 講義について

実験に先立ち、松橋教授より導電性高分子に関する講義を実施した。導電性の説明には、 π - π 共役系の説明を避けて通ることはできないが、新学習指導要領では、「化学」の有機化合物の単元で学習することになる。そのため、「化学基礎」や「科学と人間生活」の機能性プラスチックの単元で実験を行う場合など、有機化学が未習の段階でも生徒が理解しやすい内容の講義を依頼した。松橋教授は、塩化鉄(Ⅲ)により電子が奪われた(=ドーピング)ところに別の電子が入る過程の繰り返して電流が流れることを、 π 軌道を棒と電子のみに簡略化した図で説明する方法を考案し、授業で実践した(図1)。生徒の様子やアンケートから、多くの生徒が理解できていることがうか

がえた。

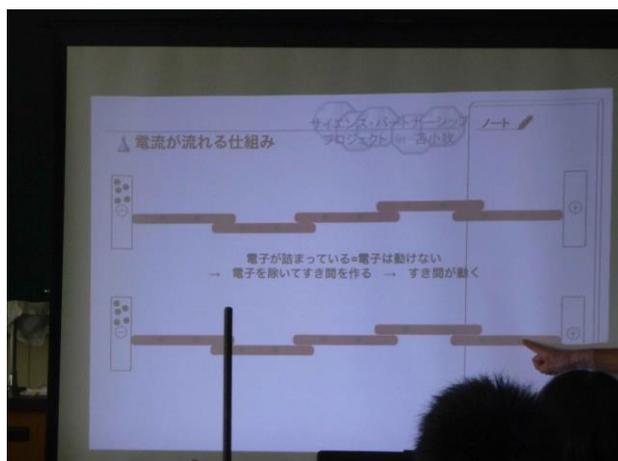


図1 電流が流れる仕組みの説明

(3) ポリピロールの合成

3の方法で説明した方法により、スライドガラス上で行うポリピロールの合成実験を行った。

サンプル瓶にスライドガラスを入れてピロールの蒸気に当て、ガラスが黄色から深緑色になると生徒から驚きの声があがった。デジタルマルチメーターを使い、抵抗がなくなることで導電性を確認することができた(図2)。日本科学未来館のボランティアグループ「ノーベル隊」が開発した導電チェッカー「トオル君」を用い、LEDの点灯で導電性を視覚的に確認させると、理解度はより高まった。



図2 導電性高分子の合成実験

(4) 事後アンケートの実施結果について

事後アンケートでは、講座内容に関する質問に

ついて、「よく当てはまる」、「やや当てはまる」を合わせた比率について、「講座はおもしろかった」と答えた割合は96%と高く、授業は好評であった。また、「理科の実験は以前より好きになった」という割合は100%であり、今後の授業への期待も示唆される結果であった。

「講座が理解できた」という割合は92%であった。「理屈でもっと理解したくなった」、「難しいと思っていたものが身近に感じられた」など、よく理解できた生徒が多い一方で、「よくわからなかった」、「難しかった」という感想も一部に見られた。本授業は説明を含め1回だけの実施であり、学習意欲の喚起には大きく寄与している一方で、体系的な知識の獲得には前後で関係する分野の授業を行うなど、授業と連携し理解度を高める方策が必要であることがうかがえた。

「授業が大切だと思うようになった」「理科が大切だと思うようになった」という項目はそれぞれ96%、88%と高かったことから、本学習プログラムは生徒の科学技術に関する興味・関心の向上に大いに寄与することができたと考えている。講義と実験を交え生徒にとって理解しやすい展開であったことに加え、ノーベル賞に関連した、社会的にも有名な科学トピックであること、導電性高分子は高校生の関心が非常に高い携帯電話の主要部品であることも、その一因であったと考えている。

5 マイクロスケール化に向けて

廣木法は、A4サイズのOHPシートに作成するため、細かな操作が苦手な小学生向けには適しているが、触媒の使用量が多くなってしまった。また、松橋教授の方法は、スライドガラス上に作製することで大幅な試薬使用量の削減に成功したが、合成した導電性高分子を受講者が持ち帰ることを考えたとき、ガラスが割れるなど安全面で課題がある。また、ポリピロールはスライドガラスの表面部分だけに生成するが、ガラス上で作るより、OHPシートのような樹脂上で合成する方が、

生徒は導電性「ポリマー」を作っている実感が沸きやすいのではないかと考えた。

そこで、図3, 4のように、OHPシートを9 cm×2 cmの短冊状にし、触媒をスライドガラスの縁で伸ばす方法を考案した。このようにすると、マイクロスケール化による試薬使用量等の削減と同時に、樹脂の使用により、実感を伴った生徒の理解へとつなげられるのではないかと考えている。また、生徒が家庭へ持ち帰ることが可能となり、家庭での振り返りによる興味・関心の維持や、家族でのコミュニケーションを通じた科学的リテラシーの向上にも寄与できるのではないかと考えている。

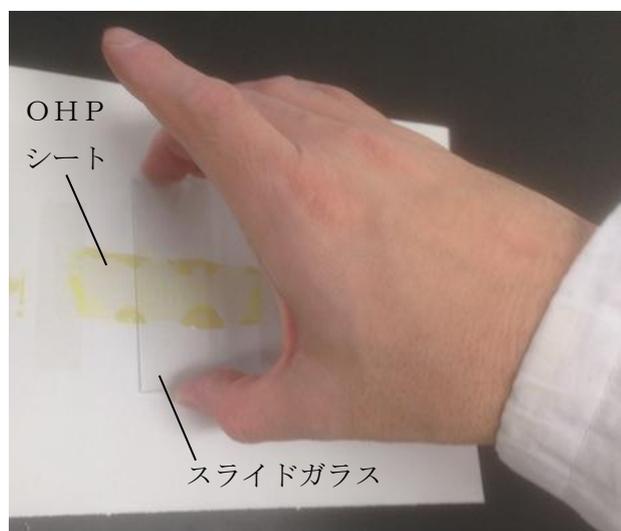


図3 塩化鉄(Ⅲ)触媒の塗布



図4 OHPシート上での
ポリピロールの重合化

6 まとめ

当センターでは本年度、教員対象の中学校講座および高等学校講座と、中学生向け「科学実験教室」で廣木法を用いる導電性高分子の合成実験を実施し、いずれも大変好評であった。SPP事業とともに、当センターの事業を通じて、本教材の有用性を確認することができた。

導電性高分子の合成に関する実験は、日常生活との関連が非常に密接な教材であるとともに、日本人がノーベル賞を受賞した題材でもあり、化学分野の学習の過程でぜひ一度は体験させたい実験である。来年度以降は、本年度実施した廣木法に加え、試薬使用量の低減や廃棄物の減少が期待できる、マイクロスケール化による方法も用い、対象とする学習段階に応じた適切な学習プログラムを提供していきたい。

おわりに

本研究について、自ら考案した実験法や指導法をご教授頂きました津山工業高等専門学校准教授 廣木一光先生、講義や実験を考案するとともに、SPP事業で講座を実施頂いた北海道教育大学函館校教授 松橋博美先生にこの場をもちまして御礼申し上げます。また、SPP事業への参画や講座の実施に際しご協力頂いた、実施主担当者の山田和広教諭をはじめとする北海道苫小牧西高等学校の教職員の皆様、そして講座に参加しアンケートの回答等でご協力頂いた同校の生徒の皆様に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 自然の探究 中学校理科3, 教育出版.
- 2) 新編化学, 東京書籍.
- 3) 廣木一光, 白川英樹 導電性高分子を合成しよう, 第111回触媒討論会キャット・ケム実験室ミニシンポジウム, 2013.
- 4) 北海道苫小牧西高等学校 平成23・24年度サイエンス・パートナーシップ・プロジェクト実施報告書, (独)科学技術振興機構ホームページ, 2012-13.
- 5) 松橋博美 「ゼオライト」の化学, 化学と教育 2013, 61, p.16.

(いとう たかゆき 化学研究班)