

児童・生徒の学力充実を支える発展的学習教材の開発

堀井 孝彦（代表者）＊2

福地 昭輝＊1 鎌田 正裕＊1 藤田留三丸＊2 田中 康善＊2 羽仁 克嘉＊2 角田 晃一＊2

岡田 仁＊3 宮内 卓也＊3 宮崎 達朗＊3 浅羽 宏＊4 岩藤 英司＊4 金城 啓一＊4

川角 博＊4 小境久美子＊4 坂井 英夫＊4 須藤 俊文＊4 正木 智幸＊4 宮城 政昭＊4

＊1 東京学芸大学

＊2 東京学芸大学附属世田谷小学校

＊3 東京学芸大学附属世田谷中学校

＊4 東京学芸大学附属高等学校

目 次

1. はじめに —研究の目的—	54
2. 研究の内容	55
3. 研究の計画	57
4. 研究の実際について	58
・実践例Ⅰ 高等学校 「タンパク質」に関する発展的学習教材とその活用	58
・実践例Ⅱ 中学校 中学校における「教科拡充型学習」の実践	62
・実践例Ⅲ 小学校 3年「豆電球に明かりをつけよう」での実践例	64
5. 本研究のまとめ	68

児童・生徒の学力充実を支える発展的学習教材の開発

堀井 孝彦（代表者）＊2

福地 昭輝＊1 鎌田 正裕＊1 藤田留三丸＊2 田中 康善＊2 羽仁 克嘉＊2 角田 晃一＊2

岡田 仁＊3 宮内 卓也＊3 宮崎 達朗＊3 浅羽 宏＊4 岩藤 英司＊4 金城 啓一＊4

川角 博＊4 小境久美子＊4 坂井 英夫＊4 須藤 俊文＊4 正木 智幸＊4 宮城 政昭＊4

＊1 東京学芸大学

＊2 東京学芸大学附属世田谷小学校

＊3 東京学芸大学附属世田谷中学校

＊4 東京学芸大学附属高等学校

1. はじめに 一研究の目的一

本研究の目的は、小・中・高等学校理科における発展的な学習の教材を開発し、これに基づいて、発展的な授業を行い、児童・生徒の理科学力の充実をめざすというものである。

また、本研究では、その成果について、公開研究会や学会発表等を通して世に問いかけ、各公立学校の教員をはじめ、理科教育に携わるさまざまな立場の方々の意見を伺いながら、現代の理科教育の改善に資することをめざしている。

(1) 「ゆとり教育の見直し」と「発展的な内容の取り扱い」に対して主体的な姿勢を

現在では、いわゆる、ゆとり教育の見直しとして、基礎的・基本的な内容の充実に加えて、発展的な内容に関する指導の充実が求められるようになってきた。学習指導要領の位置づけに関しても、逸脱が一切認められなかった時代から変貌して、「最低基準」という捉え方が拡がりつつある。

小学校の場合は平成17年度から改訂され、中学校の場合は平成18年度から改訂される見込みである、文部科学省検定済教科書においても発展的な学習内容が多数盛り込まれる予定である。

また、総合的な学習の時間については、その取り扱いの見直しとともに、教科との関連がより強く求められている。このような状況の中で、本学として、発展的な学習教材に対して、主体的な姿勢を持つべきであると考えている。

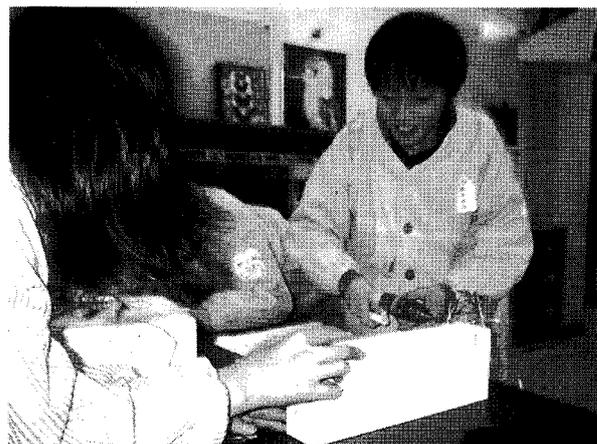
(2) 大学教員と附属学校世田谷地区教員の連携により社会のニーズに応える

本学附属世田谷小学校、附属世田谷中学校、附属高等学校においては、平成11年度から13年度にかけて、文部科学省指定開発研究として、「児童・生徒の認識と学習観を支える小・中・高一貫した教育課程の開発」についての研究を行った。

この研究を通して、校種を超えて、カリキュラム内容の検討を行ってきたが、発展的な内容に関しても、積極的に取り組むことにした。

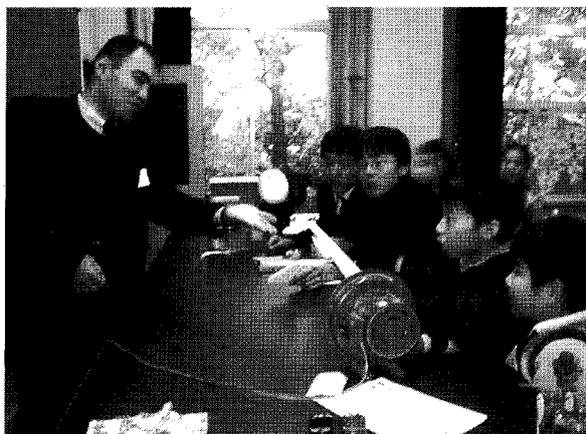
例えば、小学校理科B区分物理領域では、理科と総合の時間を使って、第5学年に「私たちの生活と電気」という単元を特設し、小学校第3学年から第6学年における「電気に関わる学習」についての一貫した取り扱いと中学校・高等学校における「電気に関わる学習」への連続・発展をめざした。

また、高等学校においては、高等学校教師と生徒



第5学年特設「私たちの生活と電気」

によって、物理、化学、生物、地学の「実験屋台村」がひらかれ、これに小学校第6学年児童、および中学校生徒が参加して、小学生・中学生・高校生が交流しながら、小学生・中学生が発展的な内容に関して学んでいくというような形態の授業実践も行ってきたほか、小学校・中学校・高等学校の各教員による交換授業を行うことによって、特に、小学校児童・中学校生徒にとって、発展的な内容について学習する授業実践も試みてきた。



小学生・中学生・高校生の交流授業をサポートする中学校教師



附属高等学校「実験屋台村」

このように、それぞれの校種の立場から発展的な教材について検討する素地があるので、また、さらには、本学の自然科学系の教員との連携をはかりながら、発展的学習に関する教材開発をめぐる社会的なニーズに応じていくことができるのではないかと考えた。

2. 研究の内容

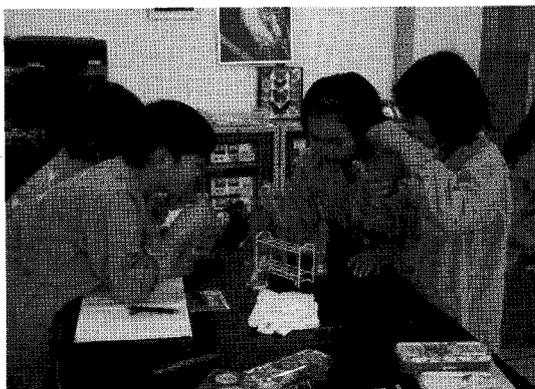
現在、学習指導要領に示されている各教科・領域等については、徹底した厳選と重点化が行われ、量的にも、質的にも、その内容の取り扱いがやや薄くなっている。

そのため、内容が羅列的で、互いの関連を意識したり、学習したことを具体的に生かしたり、日常生活や社会とのつながりを実感する場面が希薄であるという点は否めない。

また、学習内容がスパイラルに取り扱われていたかつての学習指導要領と比較して、学習内容が断片的な取り扱いにならざるを得ず、その結果として、必要な知識が希薄になり、児童・生徒が自分の知識を活用しながら、筋道立てて学んでいくのが難しいという問題点も挙げられる。

さらには、小学校における「電流による発熱」や、中学校における「物質とイオン」など、児童・生徒に科学的なものの見方・考え方を培っていく上で、外してはならない学習内容が削除されたり、かつては小学校第5学年の算数で取り扱われていた「平均」が第6学年で取り扱われることになったために、「衝突」「ふり子」の学習で、データの処理に困難をきたしたりするなどの矛盾もある。

そこで、本研究においては、発展的な学習教材を開発するとともに、学習指導要領の改訂にともなって、削除された内容も含めて、「必要なものは必要」という姿勢を貫きながら、校種や、児童・生徒の実態に応じた具体的な実践を行っていくことにした。そして、小学校、中学校、高等学校の発展的な学習教材に関する授業について、有効な実践事例を提案する。



小さったインゲンマメのニオイのもとをさぐる
—タンパク質の抽出—

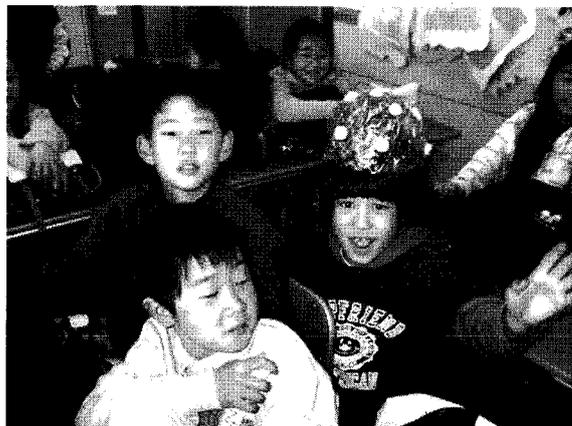
具体的には、以下のような研究を行うことにする。

なお、小学校、中学校、高等学校の各教員は、それぞれ、小学校、中学校、高等学校理科における、発展的な教材開発とその授業実践を通じた研究を行う。大学の教員は、これらの開発教材の監修、および、開発教材実践の検証・評価を行う。このような役割分担で研究を遂行していくことにした。

(1) 発展的な学習教材の開発

学習の素材そのものだけでなく、それぞれの校種に応じた実践的な手法を創造していくことにする。

例えば、小学校では、子どもの願いや求め、問いに可能な限り応えながら、学習の幅を広げていくことが求められる。その際、それまで学習してきたことについてのものの見方・考え方や、知識・技能等を、積極的に活用する一方で、発展的な学習教材の内容が児童の負担過重とならないように、その範囲を十分に見極



小学校ではものづくりも積極的に取り入れたい

めた上で実践する必要がある。

中学校では、教科の学習内容が第1分野（物理・化学領域）と第2分野（生物・地学領域）に分かれるので、系統的な学習を行っていく必要がある。また、「系統的に学ぶからこそ楽しい」という、生徒の意欲に応えることも大事にしたい。そのため生徒一人一人が実験・観察等を行いながら問題解決することによって獲得した科学的思考力や、レポート・ノート等の記述に象徴される科学的表現力、このような学習を通して培われた系統的な知

笑顔あふれる中学校の実験風景 それは発展的学習への意欲のあらわれ

識・技能を具体的に活用したり相互に関連づけたりするなど、充実した授業を実践していくことが求められる。

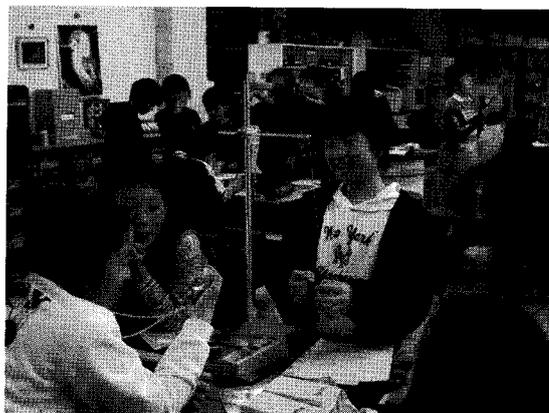
一方、高等学校では、学習内容は、物理、化学、生物、地学の各科目に分かれ、より一層の系統性が求められる。そこで、各科目の授業を通して学習した、基礎的・基本的な内容をもとにし、例えば、大学などの研究者や各方面の専門家との連携を図るなど、より高い専門性を身につけることができるような授業を実践していくことが求められる。

このように、小学校、中学校、高等学校で、その学習内容や、児童・生徒の発達段階などの実態にあった、発展的学習カリキュラム教材を開発することにする。

(2) 実験・観察を重視した教材開発

これまで附属世田谷小学校、附属世田谷中学校、附属高等学校では、一貫して実験・観察等を重視した授業をこだわって実践してきた。それは、科学的なものの見方・考え方を培っていく上で、実際に、児童・生徒が実物にふれながら学んでいくことが必要不可欠であるからだ。

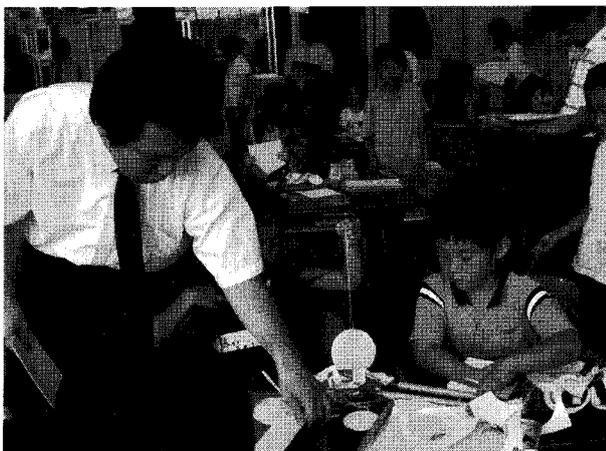
そこで、発展的な学習教材に関する授業においても、これまでの実践と、これらに基づいた成果と実績を十分に生かしながら、実験・観察等を核にした授業実践を、継続して行っていきたい。



世田谷地区3校でこだわって大事にしてきた実験

また、パーソナル・コンピュータやプロジェクターなどの教材提示装置を活用して、より視覚的にとらえやすい素材を教材の中に取り入れて、授業の充実をはかっていきたい。また、これまでの研究成果であるビデオクリップについても、授業実践の中で積極的に活用していきたい。

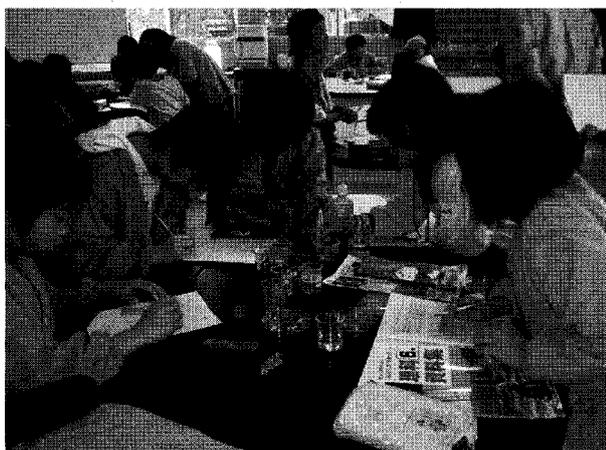
(3) 開発教材の提案



公開授業は実践を世に問う最大のチャンス

まず、本研究が始まる前、すなわち、平成17年3月31日までの間に、附属世田谷小学校、附属世田谷中学校、附属高等学校の各理科研究部における、これまでの研究や、前述した、平成11年度から13年度にかけて、文部科学省指定開発研究として行ってきた、「児童・生徒の認識と学習観を支える小・中・高一貫した教育課程の開発」についての研究をふりかえったり、あるいは、先行研究をあたってみたりするなど、本格的な研究開始に向けての資料・情報収集等を行うことにする。

次に、平成17年4月1日に研究を開始してから、平成17年7月31日までの間に、発展的な学習について

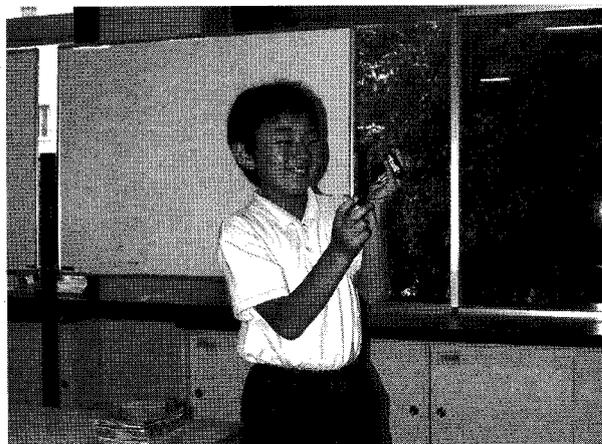


学び合いの場を支えていくことも大切

今回開発する、発展的な理科教材の実践事例に関して、学会や公開授業等を通して、積極的に世に問うていくことにしたい。各実践について、自己評価にすることは言うまでもなく、これに加えて、学会や公開授業の研究協議会等における、質疑応答や参会されている方々の意見を通して、多様な視点によって幅広く評価する。そして、これらの内部・外部の評価を通して開発教材について検討した上で、再び世の中に発信することによって、発展的な学習についての社会的な要請に応えてくことができるようにする。

3. 研究の計画

本研究の計画は次の通りである。



こうして実際にやってみることが一番大事だ

のカリキュラム案の開発を行い、このカリキュラム案に基づいて授業実践を重ねながら、その有効性について検証していく。そして、これらをもとにして、平成17年8月1日から平成17年12月31日までの間に、公開授業や学会等における研究発表を通して、本研究についての中間報告を行いながら世に問いかけるとともに、そこで得られたものを生かしながら、本研究についての評価を行っていく。

さらには、平成18年1月1日から平成18年1月31日までの間に、研究報告書の作成・提出に向け、その原稿の作成、および、検討を行い、平成18年2月1日から平成18年3月31日の本研究終了までの間、研究

の総まとめと、次の研究への継続・発展について検討していきたいと考えた。

(文責：堀井 孝彦)

4. 研究の実際について

4-1 <実践例Ⅰ> 高等学校における授業実践

「タンパク質」に関する発展的学習教材とその活用

東京学芸大学附属高等学校 小境 久美子

ヒトゲノム解読完了後の現在は、「ポストゲノム時代」として、ゲノム情報をもとに遺伝子の機能、すなわち、遺伝子産物であるタンパク質の機能解析研究が進展しており、その研究成果は、医療や創薬など様々な分野に応用されつつある。高等学校「生物Ⅱ」にも遺伝子やその発現様式、タンパク質に関する内容が盛り込まれ、体系的基礎的な学習が可能になっている¹⁾が、さらにより深い理解、生徒自身による問題解決能力の育成を目指して、選択生物履修生徒34名2学級計68名を対象に、以下のような「生物Ⅱ」の発展的学習を実践した。

(1) 「タンパク質」に関する発展的学習教材とその活用

近年様々な生物でゲノムの塩基配列の解読が終了し、その後の展開の1つとして、遺伝子産物である「タンパク質」の機能解析に関心が集まっている。細胞内に発現しているタンパク質の高次構造形成、細胞内局在、タンパク質間相互作用といった構造と機能の解析に加え、分子系統樹の作成など生物多様性の基礎となる解析研究も進んでいる。このような研究動向はプロテオミクスと称されるポストゲノム研究の中心的な研究領域になりつつある。高等学校「生物Ⅱ」における「タンパク質の機能」の内容項目にはこうした現代生命科学の研究動向が反映されており、タンパク質に関して比較的高度な内容が盛り込まれている。しかしながら、教科書における記述は、その特性上平面的にならざるを得ず、タンパク質の高次構造やダイナミックな動態の理解には限界がある。

そこで本研究では、タンパク質の構造とその機能を、立体的、また動的にとらえることができるような教材や実験の開発を試みた。

①グラフィックソフトを活用したタンパク質の立体構造の学習

「タンパク質と生物体の機能」の単元では、タンパク質は一次構造としてアミノ酸配列、二次構造としてらせん構造やジグザグ構造、三次構造として1本のポリペプチド鎖がつくる立体構造、四次構造としていくつかのポリペプチド鎖が集まってつくる高次構造のあることを学習する。ゲノムやタンパク質の研究分野に関しては、大量に蓄積されてきた塩基配列やアミノ酸配列情報がデータベース化され、研究者はその情報を利用して、立体構造、機能、タンパク質同士の相互作用を、コンピューターを利用して予測することが可能になっている。そこでタンパク質の立体構造の学習にグラフィックソフトウェア RasMol を用いた実習を行った²⁾。このソフトは、同じくインターネットを介して入手できる PDB (Protein Data Bank) の座標情報をもとに、タンパク質などの生体高分子モデルを構築し、操作できるものである。生徒には実習課題として、いくつかのタンパク質の構造を、コンピューター画面上で様々な角度から見るという作業を課した。さらに、そのタンパク質がいくつかのポリペプチド鎖から成り立っているか、ポリペプチド鎖以外の原子や分子が結合しているかどうか、らせん構造やジグザグ構造はどのようになっているか、などを確認させた。生徒は、様々な原子がどこに配置しているかなど、課題以外の内容にも自ら主体的に取り組んでいる様子であった。感想においても「自分で操作できるので、立体構造がよくわかった」という声が多かった。このソフトの利用により、生徒はタンパク質の構造上の特徴や相互作用の様式を動的に理解することが可能になったと思われる。

なお、実習後の授業において、ヘモグロビン、リゾチーム、アクチンの3種のタンパク質の機能について、それぞれのタンパク質の高次構造変化が他分子との相互作用によることを再確認した。

②Power Point や動画を用了教材

タンパク質は生体内でダイナミックに動いている。タンパク質の構造変化が、酵素と基質との結合や反応の触媒などの機能を支えており、その動態の理解はタンパク質機能の理解に欠かせない。そこで生物事象の背景にある、タンパク質を中心とした化学反応の連鎖を動的にとらえるため、Power Point のもつ動画作成機能を利用した。

「同化と異化」の単元では、ATP 合成の基礎的事項、すなわち、ミトコンドリア内膜における ATP 合成系の反応を Power Point を用いて動画化し、提示した。伝達される電子 e^- とそれとともなる H^+ の輸送、その結果生じる H^+ の濃度勾配、濃度勾配にしたがった H^+ の流れ、ATP 合成酵素による ADP から ATP の合成という一連の反応を、電子 e^- や H^+ などを時間軸に沿って動かす動画ファイルを作成し、これを用いて補足説明を行った（下図 1 参照）。ADP から ATP を合成する ATP 合成酵素については、その分子の中に H^+ を通す穴をもってあり、ここを H^+ が通過すると、回転モーターのように回転して ATP を合成することが解明されている³⁾。授業ではこの解明に関わるエピソードにふれ、東工大資源化学研究所 吉田・久堀研究室のウェブサイト http://www.res.titech.ac.jp/~seibutu/projects/fl1_j.html 上に公開されている動画を提示した。

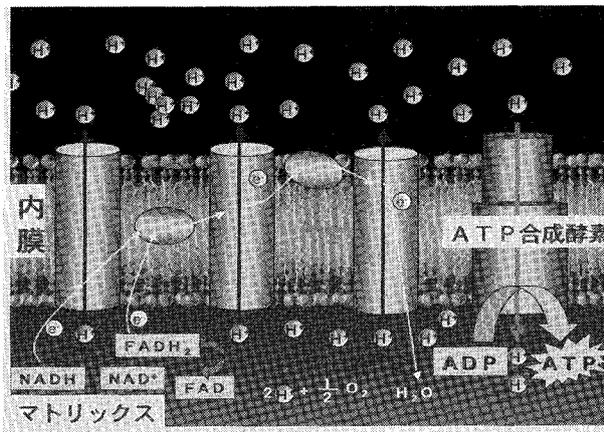


図 1 電子伝達系における ATP 合成

ナトリウムポンプはナトリウムを細胞外にくみ出し、細胞内にカリウムを取り込むタンパク質であるが、動画を見た生徒は、イオンの交換輸送を確認できたようだ。あわせてナトリウムチャンネルタンパクとカリウムチャンネルタンパクの構造を提示し、これらのタンパク質の働きによって静止膜電位や活動電位が形成されることを Power Point を用いて説明した（右図 2 参照）。

また、「免疫現象」および「遺伝情報とその発現」の単元では NHK スペシャル「驚異の小宇宙 人体」の映像を活用した。コンピューターグラフィクスが効果的に用いられており、「こんなことが自分のからだのなかで起こっているなんて信じられない」という感想を抱いた生徒もいた。中には「CG がやけに派手なのが気になった」という生徒もいたが、概ね「わかりやすかった」という反応であった。

生徒は、黒板で順を追って説明を受けるときよりも、動画を用いた方が集中力が増しているようだ。しかしながら、その場限りの理解に終わってしまう面もあり、記憶の定着を図るための効果的な視聴覚教材の活用方法を検討する必要がある。

「筋収縮」においては、RasMol でのアクチンの分子モデルに関連づけ、ATP やミオシンの相互作用について説明を行った。「細胞膜における物質の輸送」および「神経系や内分泌系における細胞間の情報伝達の仕組み」に関しては、インターネット上にある「CG で見る生物のしくみとはたらき」<http://www2.edu.ipa.go.jp/gz/a-cg/a-100/a-140/TPA-acg355.htm> から、ナトリウムポンプの動画を用いた。

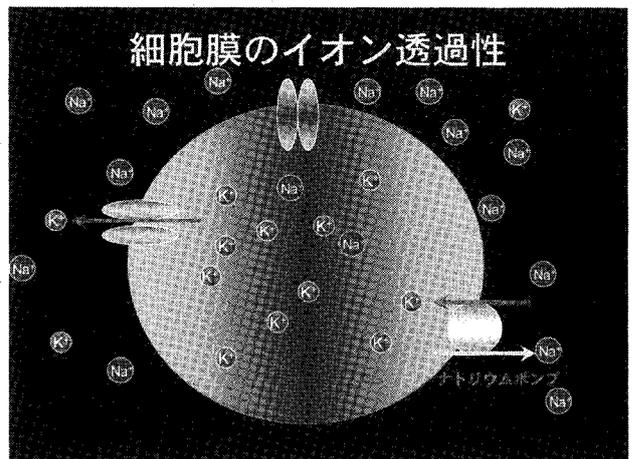


図 2 細胞膜のイオン透過性

③タンパク質の機能を考える発展的実験

ア. 酵素の反応速度に関する実験

酵素の実験では、多くの教科書に記載のあるカタラーゼやアミラーゼの定性実験に加え、定量的な実験を試みた。アミラーゼの基質濃度を変えて、基質が分解されるまでの時間を計測し、基質濃度依存性を調べる実験を行った。一部の実習班のみではあったが、基質濃度が高くなるにしたがって分解にかかる時間が長くなることが確認できた。

これに関連づけて、本来は高等学校では扱わない酵素反応速度論について講義した。酵素と基質が結合して酵素基質複合体となり、合成・分解などの反応が起こって反応生成物が酵素から離れる、さらにまた酵素は基質と結合するという触媒としての酵素タンパク質の機能について、時間軸を考慮した動的な働きとして酵素機能を認識する機会となったのではないかと考える。

酵素についての学習に関連して、微生物の発酵に興味をもった生徒が、酵母菌、乳酸菌を用いた課題研究を行った。酵母菌を用いた研究では、その発酵活動を炭酸ガス放出量と発熱量の測定により定量的に考察した。乳酸菌を用いた研究では、温度やpH等、様々な条件を変える実験を行い、酵素の性質について考察した。また、身近な物質に含まれる酵素を探索し、酵素活性の比較を行った生徒もいた。

生徒はこれらの活動を通し、酵素を自分たちの身の回りにあり、生活の中で活用されているものであることを再認識したようだった。

イ. 細胞外誘導法による活動電位の記録実験

活動電位はニューロンの軸索膜を伝導する電気シグナルであり、脳の情報処理の基本をなす。その時空間パターンの生成は、私達の感覚、認識、学習、記憶の基礎をなしている。

活動電位の発生には、前述の膜内在性タンパク質であるナトリウムチャンネルやカリウムチャンネル⁴⁾が重要な役割を果たしている。

これらのタンパク質の動態の総和として表出される現象が活動電位である。多くの教科書で取り上げられている活動電位は細胞内微小電極法により得た電位波形であるが、高校の現場でこの記録を行うのは、市販の増幅器、マニピレーター、電極作成器など高価な為、困難である。

そこで本実験では、教室内でも実施可能な細胞外誘導法を用いて、活動電位を導出記録する演示実験を行った。

フタホシコオロギの歩脚は、機械受容器の感覚ニューロンを記録するのに優れた標本である。歩脚を走行する感覚神経束近傍に金属電極としての昆虫針を刺入し、演算増幅器を使用した交流増幅器に接続して、シンクロスコープで活動電位波形をモニターした。出力信号はキットとして市販されているオーディオパワーアンプを作成し、これに接続してサウンドモニターとして音声で聞けるようにした。

これによって活動電位を視覚的、聴覚的にとらえることができた。

感覚神経の活動電位は時系列のデジタル情報とし、中枢神経系に伝送されることが視覚と聴覚に訴えることで確認されたと思われる。

ウ. 筋収縮に関する実験

筋収縮は、アクチンとミオシンという二つのタンパク質の相互作用によって起こるが、その調節には Ca^{2+} が重要な役割を果たしている。運動神経から伝達された筋繊維膜の興奮は、T管とそれに続くトライアッド構造を介して筋小胞体のリアノジン受容体から Ca^{2+} を放出する。細胞内 Ca^{2+} 濃度上昇によりアクチンフィラメント上に存在するトロポニン複合体に Ca^{2+} が結合するとこれがきっかけになりアクチン、ミオシンの相互作用が開始し筋は収縮する。

続いて Ca^{2+} の筋小胞体への取り込みにより筋は弛緩する。このように Ca^{2+} は、筋の収縮・弛緩の重要

な調節因子になっている。本実習では、筋収縮制御に果たす Ca^{2+} の役割を考察させるため、従来より行われているグリセリン筋を用いた収縮実験に加え、 Ca^{2+} を EGTA (グリコールエーテルジアミン四酢酸) でキレートしておいて ATP を滴下する実験を行った。これを EGTA を含まないものの結果と比較した。

多くの生徒が、筋収縮が起こるためには Ca^{2+} が必要だという考察を行うことができた。

この実験の考察からタンパク質と無機イオン Ca^{2+} との相互作用、それに伴うタンパク質の構造変化が、筋の収縮という生物学的事象へ連鎖していくプロセスが理解されたものと思われる。

エ. バイオテクノロジーに関する実験

オワンクラゲ由来の蛍光タンパク質 GFP (Green Fluorescent Protein) の遺伝子を大腸菌に組込む遺伝子組換え実験を行った。この実験は、以前から本校で実施されているが、今年度は、東京都長期派遣研修の渡邊 正治教諭にご指導いただき、微生物学実験の基礎から、実験後の考察のしかたに至るまでを学ぶことができた。

バイオテクノロジーに関しては、課題研究で組織培養に取り組んだ生徒が2名いた。無菌操作から対照実験の考え方まで、生徒自身がよく考え実験を行った。

(2) まとめ

本研究では、「タンパク質」を題材として、インターネット環境下に入手できる情報をもとに、その機能を動的にとらえ、肉眼では目にするのでできない分子の世界の事象を考察する実践を行った。

またパワーポイントの動画作成機能を活用し、タンパク質の機能や生体化学反応を、動的にとらえる試みを行った。

これらの実践を通して、生徒達はまさに自分のからだの中で起こっている分子のダイナミクスを感じることができたのではないと思われる。

ただし、動画による理解が一過性のものになるという危険性も考慮し、板書を含んだ多面的な教育技術や、生徒の興味、関心、意欲をさらに高めるための有効な情報機器の活用方法等を、今後検討していく必要があると考えている。

【参考・引用文献】

- 1 文部科学省：高等学校学習指導要領解説 理科編・理数編、2000
- 2 齊藤 淳一：インターネットを利用した生体高分子の学習、東京学芸大学教育学部附属高等学校大泉校舎研究紀要 第21集 pp.13~22、1996
- 3 Noji, H *et al* : Direct observation of the rotation of F_1 -ATPase, *Nature*, 386, pp.299-302, 1997
- 4 Kosakai, K *et al* : The ionic currents in freshly isolated Kenyon cells from the mushroom body of the cricket *Gryllus bimaculatus*, *Zoological Science*, 20, pp.1581, 2003
- 5 Kosakai, K and Yoshino, M : Voltage-dependent Ca^{2+} channel in Kenyon cells dispersed from the cricket brain, *Zoological Science*, 21, pp.1326, 2004

(文責：小境 久美子)

中学校における「教科拡充型学習」の実践

東京学芸大学附属世田谷中学校 宮内 卓也

(1) 本校における発展的な学習の考え方と位置づけ

一般的な教科学習は、すべての生徒が学ぶことを前提とした重要な内容で構成されているべきだが、単元によっては内容が断片的で、学んだことを具体的に活用し、相互に関連づける機会が乏しいものがある。また、日常生活では一般的な事象でありながら、教科の学習だけでそれらの事象を説明するのに困難を感じるものがある。

本校の理科では発展的な学習の時間として「教科拡充型の学習」を設定し、学んだ事柄を具体的に活用し、相互に関連づける機会、学習内容を補完して、より豊かな概念形成をはかる機会として重視している。日常の教科学習との連携をはかり、適切な時期に適切な内容が実施できるよう、単元と単元の間、「教科拡充型の学習」を挟み込み、3年間のカリキュラムを作成している。

(2) 具体的な実践事例

①教材名：「炭素のゆくえを追いかけてよう」 実践者：宮内 卓也（東京学芸大学附属世田谷中学校）

本授業実践は、中学校2年生40名4学級の生徒を対象として行ったものである。

②教材のねらい

「化学変化と原子、分子」の単元は、身のまわりにあるさまざまな物質の化学的な変化について、実験を通して理解をはかるとともに、それらの事象を原子、分子と関連づけ、微視的な見方、考え方を身につけることをねらいとしている。

化学は物質の性質とその変化を対象としており、あらゆる自然事象と深い関連を持った領域である。学習した個々の事柄を活用し、身近な現象と関連させながら、それぞれの事柄を互いに結びつけるような機会を設けたいと考えている。

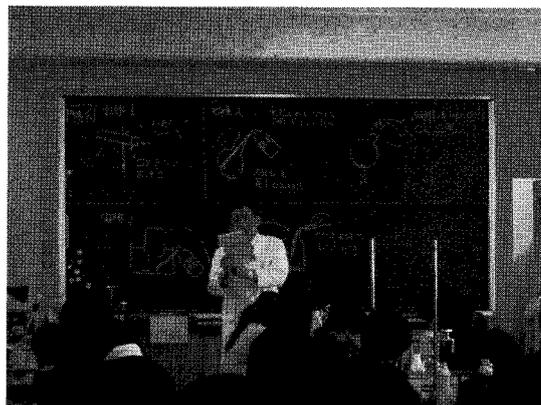
本教材は、炭素に注目し、炭素がその姿を変えながらさまざまな物質に変化する現象を集めたものである。自然界では多様な化学変化がくり返され、原子の組み合わせが変化し、別の物質が生成している。それぞれの物質をつくっている原子は保存され、自然界を循環していることを学習した事柄を活用する中で理解させたい。

③教材の概要

以下のような4つの学習で教材を構成した。

ア. 木材の乾留

割り箸を使った木材の乾留を行い、木材をつくっている有機物が熱分解し、有機物の主な成分である炭素ができることを実験を通して考えさせた。1年時に「有機物は焦げて黒くなること」を扱い、2年時に学んだ原子、分子と化学変化の学習を生かし、



「教科拡充型の学習」の授業実践



木材の乾留実験

残った黒い物質が熱分解で生じた炭素であることを考えさせた。

イ. 木炭の燃焼

酸素を満たしたフラスコ内で木炭を燃焼させる実験を行い、わずかな灰を残して木炭の姿が消えることを観察し、炭素が酸素と結びついて二酸化炭素に変化していることを考えさせた。

1年生では「有機物が燃えると二酸化炭素が発生する」ということを学習しているが、2年生で学んだ原子、分子と化学変化の学習を生かし、二酸化炭素が発生するのは、有機物の主な成分である炭素が空気中の酸素と結びついた結果であることを考えさせた。

ウ. 二酸化炭素の還元

二酸化炭素中に点火したマグネシウムを入れ、二酸化炭素を還元する実験を行い、炭素が生成することを観察し、マグネシウムが二酸化炭素から酸素をうばい、炭素に変化していることを考えさせた。

また、二酸化炭素が成分として炭素を含んでいることについても実感させることも意図している。

現行の学習指導要領では、酸化還元反応は3年時で扱うこととなっているので、酸化還元の見解には深入りせず、原子の組み合わせが変化するように考えさせることに主眼を置いた。



マグネシウムによる二酸化炭素の還元実験

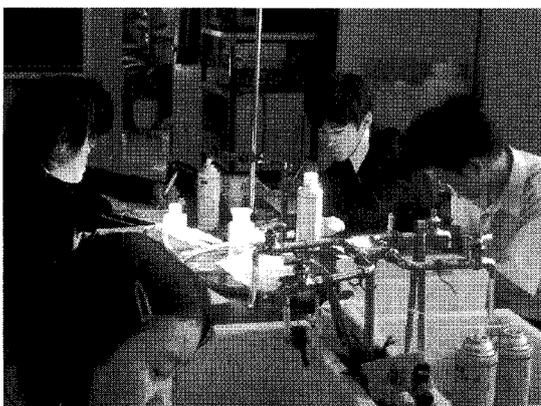
エ. まとめ

①～③をふりかえり、有機物、木炭（主に炭素）、二酸化炭素、炭素というように、炭素が姿を変えながら、移り変わっていくことを考えさせた。

さらに、自然界に視点をうつし、二酸化炭素を樹木をつくっている有機物に変化させるはたらきは何かという点を考察させ、木材をつくっている有機物の主な成分である炭素が、もともと大気中から取り入れた二酸化炭素に由来することを考えさせた。

1年時、第2分野では、「光合成は二酸化炭素と水を吸収し、これらを使って、光をエネルギー源としてデンプンなどを合成し、酸素を放出する現象である」ということを学習している。

こうして、原子、分子と、化学変化の学習を生かし、吸収した二酸化炭素の成分である炭素が有機物の成分になることを考えさせた。

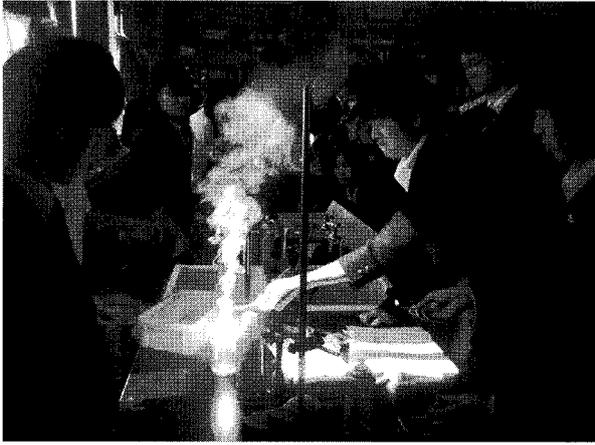


理科の学習では事後のまとめも重要

(3) 教材の評価と課題

木材の乾留では、もともと木材の成分であった炭素が生成することを見出すことができたが、木炭が主に炭素でできていることを知らない生徒も多く、その点の支援が必要である。

酸素中で木炭を燃やす実験は、教科書の生徒実験には設定されていないが、木炭の燃焼は、学習内容として扱っているため、炭素と酸素が化合して二酸化炭素が発生することを見出すことができた。フラスコ内の木炭の姿がなくなる現象について、生徒の反応が大変よかった。



生徒も真剣そのもの学習意欲を感じさせるマグネシウムを用いた実験



教科拡充型の学習を支えていくためには教師の丁寧な支援も

二酸化炭素中のマグネシウムの反応は激しく光を出す反応であるため、この実験についても、生徒の反応が大変よかった。やや高度な内容ではあったが、物質が原子の組み合わせでできており、化学変化が原子の組み合わせが変化するものである点をふりかえさせ、反応のしくみを考えさせた。ただし、これまでの授業では、まったく扱っていない反応であるため、個別の支援が特に必要である。

光合成についての学習では、有機物の成分と二酸化炭素の成分を比較させることで、大気中の二酸化炭素の成分である炭素が有機物を構成しているという点について気づくことができたが、光合成が化学変化であるということに関して生徒の認識が弱いため、その点についての支援が必要である。

生徒の感想の中には「今まで学んだ事を引出しから出してちゃんと勉強できたと思う。」「とても不思議だなあと思いました。なぜなら、一つの物質をあそこまで変えても、元にもどすことができるからです。」という記述が見られた。

これまでの学習で学んだ事柄を生かすこと、物質が変化をしながら循環していることについて、少なからず伝えることができたのではないかと考えている。

一方、日常生活で獲得した知識や単元の学習状況の個人差が大きいため、机間指導を充実させたり、少人数クラスを設定するなどの工夫が求められる。



もう一つの教科拡充型「遺伝の確率」の学習

(文責：宮内 卓也)

4-3 <実践例Ⅲ> 小学校における実践

3年「豆電球に明かりをつけよう」での実践例

東京学芸大学附属世田谷小学校 田中 康善

(1) はじめに

3年の本単元「豆電球に明かりをつけよう」は、「乾電池に豆電球をつなぎ、電気を通すつなぎ方や電気を通す物を調べ、電気の回路についての考えを持つようにする。」ことが目標である。

具体的には、

●電気を通すつなぎ方と通さないつなぎ方があること。

●電気を通す物と通さない物があること。

に気づかせる学習で、低学年理科の廃止後、それまで扱っていた2年から移して扱っている。(1)

その授業展開とこの学習によって獲得を期待する概念(太字記載)は以下の通りである。(2)

電池1個とソケット、それに豆電球を使って点灯させよう。

電気を通すつなぎ方はわかになっている

豆電球が点灯することで、切れたわかをつないだ物が電気を通す物か通さない物かに分けよう。

電気を通すのは金属の仲間だ

(2)「豆電球に明かりをつけよう」の単元における発展学習

①回路の概念を明確にする発展学習

電池1個とソケット、それに、豆電球を使って点灯するつなぎかたを探す活動のハードルは、さほどに高くない。そこで「電気を通すつなぎ方がわかになっている」ことを印象づけるために以下の学習を挿入した。

i) 図のような道具を作り、アルミニウム箔の一部を乾電池ボックスに置き換え(A部分)、乾電池を入れたときに、回路が発熱することから、電気が流れたことを体感する(長時間行わない)。

ii) 乾電池をはずし、回路の一部を切断する(B部分)。そのあと、乾電池を入れても電気が流れないことを確認する。

iii) 切断した箇所、LED(発光ダイオード)をつないだとき、光がつくことを調べる(電気のエネルギーが、発熱から光の作用へと変換したことも体感できる)。(3)

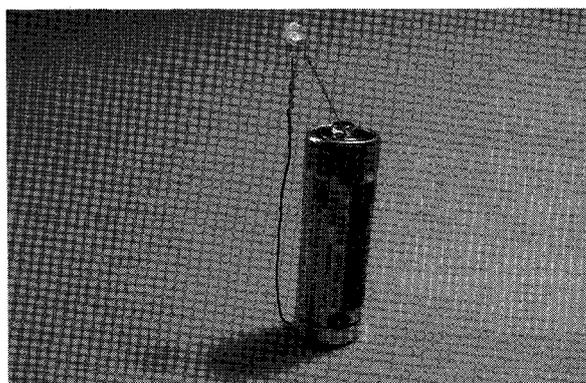
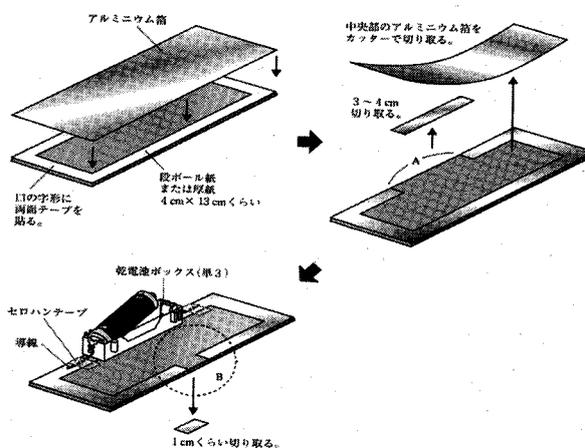
②電気の流れの方向性に気づかせる発展学習

LEDは、電気の流れに方向性があるという概念に、子どもが操作を通して気づく優れた教材である。(4)

乾電池とLEDを、それぞれ1個ずつ渡し、「LEDに明かりをつけよう」と投げかけると、子どもは、しばらく試行錯誤をする。そして、これらをつなげるための線を要求してくる。

エナメル線を渡すと、また少しして交換してくれと戻ってくる。「あの線では電気が流れないからだ」という。そこで、エナメル線の仕組みを説明し、エナメルを剥がすための紙ヤスリを渡す。

右の写真は、紙ヤスリのエナメルを剥がして、LEDを点灯させたものである。



▲ 試行錯誤でLED点灯

③電気を通すつなぎ方はわっかになっている

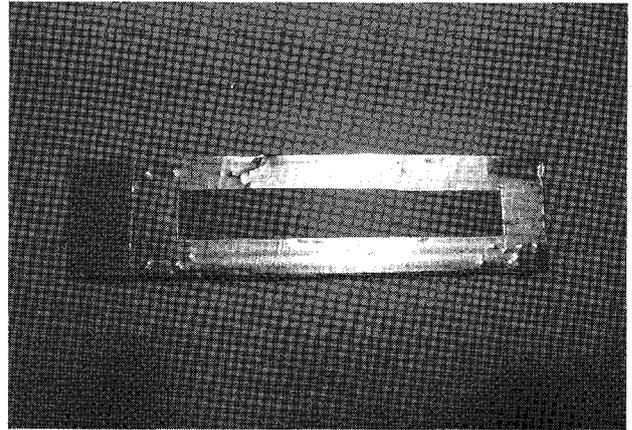
「このつなぎ方でいいですか」という質問が頻繁に出るのが、この「豆電球に明かりをつけよう」の単元からはじまる電気関係の学習である。

電気は見えないから不安になる。間違ったつなぎ方で電流を流すと、豆電球を破壊することも起こる。乾電池を入れる前にどうしてもよく知っている人に聞きたくなる。

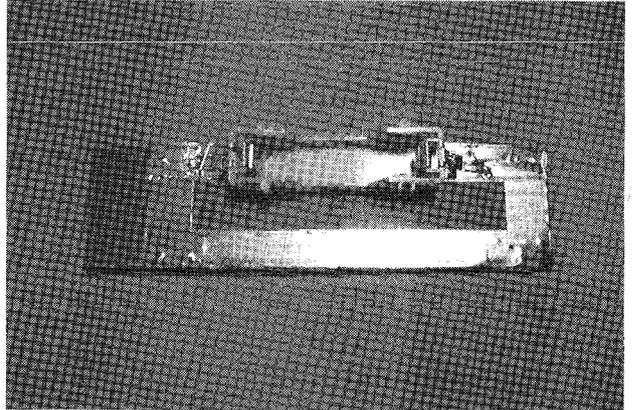
子どもが、「このつなぎ方でいい」と自己評価するための手がかりは「電気を通すつなぎ方はわっかになっている」である。それを口の字型でイメージ化し、定着を図るのがよい。

電気エネルギーをこの回路に供給するために乾電池を入れる。銀色の部分は裏面に接着剤が着いたアルミニウムで、プリント配線を連想させる。電池ボックスを使って乾電池を入れる。乾電池を入れるところの回路のアルミニウムテープ（導線）は、カッターナイフで切り取る。（前ページの図参照）

そして、乾電池を入れると、また、「わっかになる」ということを確認させる。



▲ 口の字型の電気回路イメージの定着を図る



▲ 電池を入れるとまた口の字型になる

④電気のエネルギーが熱のエネルギーに変換

電池ボックスを回路に入れる作業を行うと、ほとんどの子どもは乾電池を電池ボックスに入れる。そして少しすると、回路が熱くなっていることに驚き声を発する。

この時点で作業を急いでストップし、乾電池を外させる。電気のエネルギーの働きで熱が発生したこと、多くの電気エネルギーを消費するので、電池の中の電気がすぐ無くなること。また発生した熱が火事の原因にもなることを伝え、このショート回路が出来ないように注意することをうながす。

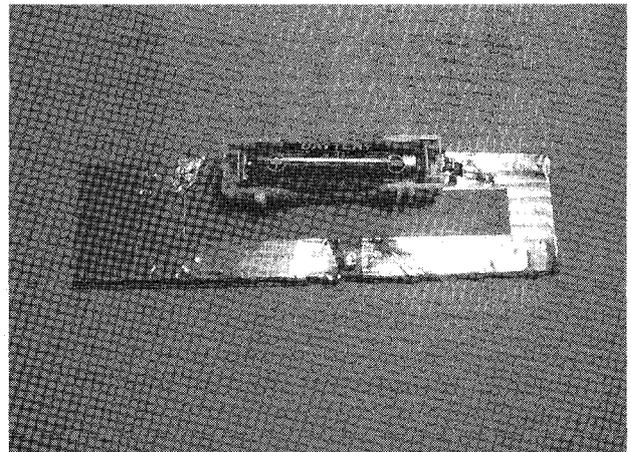
⑤電気のエネルギーを光のエネルギーに変換

電池ボックスを入れた回路に、LEDを入れたら点灯する回路を作らせる。

LEDを乾電池で点灯させる経験をしているし、回路の一部を切り取り電池ボックスを入れて、またわっかを作る経験もしている。

この作業は短時間で終了する。この回路では、電気のエネルギーの働きで、光が発生したことを伝える。

ここは中学校1年の学習内容であるので、あっさりとは扱うことにする。(5)



▲ 電池とLEDを入れた口の字型

⑥電気を通すのは金属の仲間だ

この回路は、その一部を切断すると、LED式導通テスターになる。

(3) おわりに

お察しの通りで、スタート段階では多くの時間を費やした。

しかし、学習者である子どもが主体的に学習に取り組むようになるにつれて、現行の小学校指導要領で示した内容を終えて、なお、時間が産み出せることが分かった。積極的な学習展開で学習効率が上がるのだ。

一方、平成13年度から文部科学省が、発展学習を推奨するようになった。東京学芸大学の世田谷地区にある、附属高等学校、附属世田谷中学校、附属世田谷小学校の理科研究部員で構成する研究会（「東京学芸大学附属学校合同研究会・世田谷地区会」）ではこの時間に目をつけ、発達段階に合い、かつ10年後の理科教育の中で扱いたい学習内容を模索し、「初めに子どもありき」で導入しての発展学習として試行した。

電気回路の製作に半田ごてを避けてホチキスの芯を使ったり、プリント配線の代わりにアルミニウムテープを用いるなどの工夫もした。

最後に技術的なヒントやミニライトの素材を無償で提供してくださった、東京学芸大学の鎌田正裕先生と研究室の方々にこの紙面を借りて厚く御礼申し上げます。

【参考・引用文献】

- (1) 小学校学習指導要領 平成10年12月 文部科学省 p.p.51~53
- (2) 理科年間指導計画 平成17年度版 3年 東京学芸大学附属世田谷小学校理科部
- (3) 新版たのしい理科 3年 教科書解説本編 平成17年3月 大日本図書株式会社 p.p.200
- (4) 田中康善 「発光素子を教材化するー素材の教材化ー」 『藤棚』15号
東京学芸大学附属世田谷小学校 p.p.67~74
- (5) 中学校学習指導要領 平成10年12月 文部科学省 p.p.48~49
- (6) 鎌田正裕 『Electricity and Magnet』 中華民国 92年12月 National Science and Technology Museum p.p.55~56

(文責：田中 康善)

5. 本研究のまとめ

児童・生徒は、本来、自然事象に対して強い興味・関心をもっているはずである。私たち、東京学芸大学附属学校世田谷地区理科研究部のメンバーは、これまで数多くの理科の授業実践と研究を通して、目を輝かせて実験・観察等に取り組んで主体的に学んでいく知的好奇心あふれる児童・生徒の姿をしばしば目にしている。それが本学附属世田谷地区三校の児童・生徒に限られたものではないということは、他校の研究発表会や授業研究会等に参会するとよく分かる。

しかしながら、それにもかかわらず、このような児童・生徒の大多数が、なぜ「理科嫌い」「理科離れ」の道を歩んでいくのか。それは端的に言うと、学習内容の断片しか教えない「ふつうの理科授業」がつまらないからである。そして、児童・生徒に待っているのは、過酷な受験戦争だけであるからだ。

自らの知的好奇心が満足されずに、また与えられた問題を与えられた方法で解くという、詰め込み式の非科学的な理科の勉強ばかりやってきて、理科が好きになるはずはないのである。このような勉強は、理科と呼んではいけないのであろう。

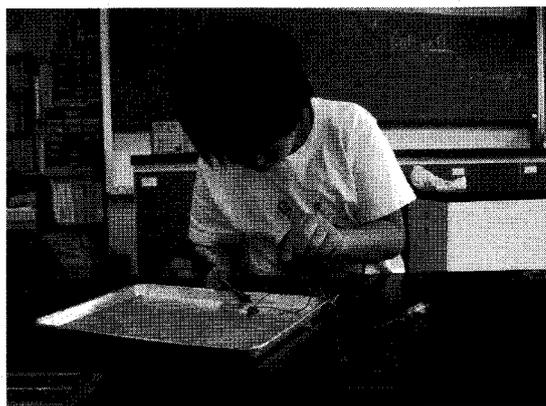
上記の三つの実践をふりかえると、いずれも、児童・生徒の知的好奇心をくすぐる内容であり、たとえ、少々難しい内容であっても、児童・生徒が興味・関心をもって、学んでいるのがよく分かる。

一つ目の小境実践においては、タンパク質を題材として、グラフィックソフト、プレゼンテーションソフトや動画などを用いて、情報機器を駆使しながら、生徒自らのからだの中で起きている現象について調べてきたことによって、生徒一人一人が生命の巧みなしくみを実感しながら学んでいくことができた。また、「酵素の反応速度

に関する実験」「細胞外誘導法による活動電位の記録実験」「筋収縮に関する実験」「バイオテクノロジーに関する実験」の四つの発展的な実験を取り扱ってきたことにより、高等学校の一般的な生物の学習が、理解しやすいように系統立てて学習していただくだけであり、実は、もっと奥が深く複雑なものであるということに気づき、さらに、これらの現象に対して興味・関心をもつ生徒が数多く出てきた。

二つ目の宮内実践は、時間数削減の中、ともすると、羅列的・断片的に扱わざるを得ない内容に関して、総合学習の時間を活用、教科発信型の総合学習の一つとして、単元の総合化をめざしたものである。「分解」「化合」「質量保存」等の諸概念は、化学反応を通して、一方通行のようなとらえ方をしている生徒が多いという状況の中では、原子レベルの「保存」として、生徒に実感されない。そこで、自然界における炭素の循環に着目して、また、第2分野の「光合成」との関連を図りながら、単元を再構成した。力に個人差があり、生徒のリーダー性、40名という人数の問題など、今後の課題とされることもいくつかあるが、「フラスコの木炭が見えなくなった」「二酸化炭素の中でも燃える」というような意外な現象や原子に興味・関心を持った生徒が多かった。

三つ目の田中実践は、近年、道路・鉄道の信号や映像装置等に急速に普及してきた発光ダイオードに着目し、試行錯誤しながら、また、ものづくりを通して、一つ一つ筋道立てながら問題解決していくことをめざしたものである。S女児の説明文に象徴されるように、児童が問題解決の過程としての筋道の一つ一つ丁寧に歩みながら、学んできたことをうかがうことができる。こうして、学習の過程が充実してこそ、確かな学力が育っていくのである。発光ダイオードは、近年安価となり、青色発光ダイオードの開発とともに、発光色も増えてきたので、ぜひ、発展学習を行っていく上でのよき素材として、積極的に活用していきたいものである。



半田付けは小学生にもやればできる



総合学習の時間を有効に利用しダイナミックに展開すること

これらの三つの授業実践をから見ても明らかのように、「ゆとり教育」や「内容の厳選と重点化」の名のもので作成された、羅列的・断片的な内容の集合体に過ぎない減量カリキュラムが、児童・生徒の知的好奇心を奪い、かえって「ゆとりのなさ」や「学力低下」を生んでいるという問題が浮き彫りになってくる。

その点、私たちが、今年度取り組んできた、「生徒の学力充実を支える発展的学習教材の開発」についての研究の方向性、また、発展的な学習を授業に積極的に取り入れたり、総合学習の時間との関連を図っていこうとしたりする姿勢は、間違っていないと考えている。

今後も、新たな発展的な学習教材の開発を継続していくとともに、世田谷地区三校伝統の「実験・観察などをこだわって大事にする姿勢」と、「必要なものは必要という考え方」を貫きながら、児童・生徒の学力充実をめざして、授業実践と研究に取り組んでいきたいと考えている。

(文責：堀井 孝彦)