

ミクロな世界の物理概念の獲得と 科学的リテラシーを育む授業の工夫

— 半導体分野の理解と、光とエネルギーのイメージの具象化 —

倉田 慎一¹

原子や電子といったミクロな世界の物理概念の獲得は難しく、学習意欲を高める工夫が求められている。そこで、探究心を高める実験の開発や、理解を助けるデジタル教材の利用・開発を行い、データの処理・共有化のためのネットワークを構築した。さらに、仮説を伴った予想を立てる作業や、各班の結果を統合する実験、互いに関連のある実験を系統的に織り交ぜた授業の展開によって、科学的リテラシーの育成を図る授業の工夫を行った。

はじめに

物理Ⅱの「物質と原子」の単元はミクロな世界を扱い、生徒が直接触れたり観察する実験が少ない分野の一つである。そのために、具体的なイメージがつかめないまま学習を進めている場合が多い。また、電子や原子などミクロな物質を実感を持って身近に感じることが少ない。そのために学習意欲の高まりがあまり期待できない分野となっている。

PISA2003年調査における科学的リテラシーの日本の平均点は1位であった。また、TIMSS2003調査でも、理科の得点は6位と上位グループに属している。しかし、質問紙による理科の勉強の楽しさや勉強への積極性は国際平均を下回り、下位グループに属している。科学的リテラシーや理科の得点が高いにもかかわらず楽しさや積極性が低く、理科学習の意欲を高める工夫が求められている。

一方、従来授業中に行われてきた実験は、与えられた手順で既知の結果を求めるものが多い。また、結果を求めることだけが目的となる実験が多く見受けられる。科学的リテラシーについてOECDは「自然界及び人間の活動によって起こる自然界の変化について理解し、意思決定するために、科学的知識を使用し、課題を明確にし、証拠に基づく結論を導き出す能力」（国立教育政策研究所監訳 2004）と定義しているが、授業で行う実験が科学的リテラシーを育成する手段となっていない場合が見られる。

そこで、科学的リテラシーを育成するために、既習事項や実験データなどの証拠をもとに仮説を立て、実験を行い、仮説を検証していく学習活動の繰り返しが必要であると考えた。授業で扱う場合には、仮説を立て

る過程を結果予想の理由を考える学習活動とし、仮説を検証する過程を実験で結果を確かめる学習活動とした。

本研究では「物質と原子」の単元の中の「半導体」を題材とし、身近に感じる実験を開発し、より具体的なイメージを持つことができるデジタル教材の利用・開発を行い、それらの教材を活用した授業展開を工夫することで、科学的リテラシーの中でも「証拠に基づく結論を導き出す能力」の育成を図ることを目的とした。

研究の内容

1 授業の工夫

(1) 授業展開の工夫

今回計画した一連の授業は、半導体分野の学習内容の定着を図り、証拠に基づく結論を導く能力を育成するために、以下の授業展開を繰り返している。

授業のはじめに関心・探究心を高める観察を行う。これを生徒が授業に積極的に取り組むための動機付けとする。また、当該時間の学習に関する実験素材を最初に観察することで、経験の有無による知識の差を埋める。

次に、実験を行う前に、既習事項や観察で得た知識を根拠にして、理由を考え結果を予想する。結果に関する要因を推定すると、実験の着眼点が明確になる。

続いて実験を行い、予想と結果を比較することにより予想理由を検証する。その過程で、アニメーションを利用した説明により具体的なイメージを獲得し、現象の理解を深める。

(2) 実験教材の開発

ア 半導体の観察

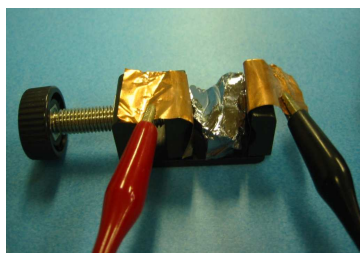
半導体であるケイ素（Si）の結晶を各班に配り、観察をする。この結晶は半導体素子を製造する過程で精製されたもので、鉱物販売店から購入したものである。

1 県立秦野高等学校
研修分野（理科）

半導体という言葉から黒い樹脂に囲まれた電子部品を連想する生徒が多く、初めて半導体の結晶を観察する生徒は、その違いに驚いている。この結晶を観察することで、クラス全員が半導体という言葉の印象を正しく持つことができる。外観は金属の様な光沢を持ちつつ、断面が金属とは異なる様子を示していることを観察する。手に持つことで、密度、熱伝導度などを感じることができ、金属と似ている点・異なる点を体感できる。触っているうちに結晶片がかけ落ちることもあり、金属結合でないことが理解できる。

イ 半導体の抵抗測定

ケイ素の結晶を2枚の金属板で挟み、クランプで固定する(第1図)。これにより、接触抵抗が低下し、ケイ素自体の抵抗が測定できる。ケイ素の抵抗値は、金属の抵抗値よりも大きい

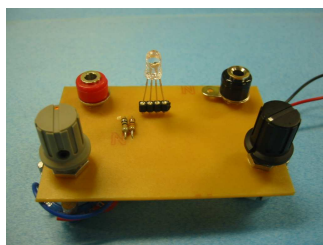


第1図 半導体の抵抗測定

が、不導体ではないことに注目させる。また、ケイ素をドライヤーで温め抵抗の変化を測定する。半導体の場合には、金属とは逆に温度が高くなると抵抗が小さくなることが観察できる。なお、金属としてガラス球を取り除いた10W白熱電灯のフィラメント(タングステン)を用いた。

ウ LED発光電圧測定器

3色LED(OSTA-5131A)を用いて色ごとの最小発光電圧を測定する(第2図)。このLEDは赤・緑・青を単色または混色で、明るさを変化させて発光させることができる。

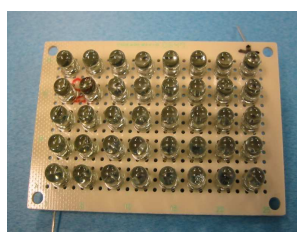


第2図 LED発光電圧測定器

3色LEDを用い、ロータリースイッチで発光色を切り替えることで、装置を簡略化することができ、操作が簡便になった。

エ 光によるLED発電実験器

赤色LED(OSHR5111A)と赤外線LED(OSIR5113A)を、それぞれ別の基盤上に40個ずつ並列に接続する(第3図)。これらのLEDに100W白熱電灯の光を当てると、赤色LEDで約1.5V、赤外線LEDで約0.9V発電する。この発電実験器を電子オルゴールに接続し、鳴り方の差から赤色LEDと赤外線LEDの発電電圧の違いを

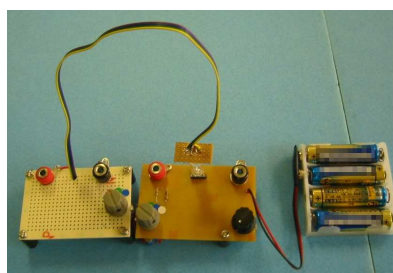


第3図 光によるLED発電実験器

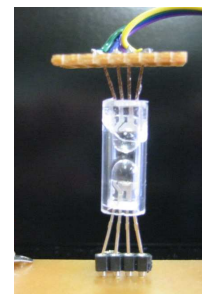
観察する。テンポや音の高さ・大きさから発電電圧の違いが分かりやすくなるように、曲は「エリーゼのために」を使用した。

オ LEDによる発電電圧測定器

当てた光によってLEDが発電した電圧を測定する(第4図)。発光側LEDの上に受光側LEDを向かい合わせ、2つのLEDを筒に入れ、発光側LEDと受光側LEDの位置を固定できるようにする(第5図)。これにより、一定条件のもとに測定を行うことができる。発光側LEDと受光側LEDをそれぞれ切り替え、色の組み合わせごとに実験を行う。発光側LEDの明るさを変化させ、受光側LEDの発電電圧を測定する。



第4図 発電電圧測定器



第5図 LEDを固定する筒

(3) デジタル教材の利用・開発

科学技術振興機構の「理科ねっとわーく」のコンテンツを利用するとともに、アニメーションソフト(Flash)を利用したデジタル教材の開発を行った。ノートパソコンを班に1台ずつ用意する。生徒が操作することで、物体の運動の条件を変化させることができるアニメーションを使用する。生徒用の画面と同じものをプロジェクタに映し、説明することもできる。

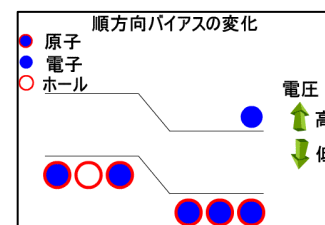
ア 「理科ねっとわーく」のコンテンツ利用

視覚的にとらえにくい電子や原子などの物質の運動をシミュレーションするコンテンツを使用した。

物理実験室にはインターネットにつながるネットワークがないため、あらかじめコンテンツをダウンロードし、教室内の授業サーバに保存しておく。

イ Flashによるデジタル教材

電子や原子の運動をモデル化したアニメーションを製作した。エネルギーの概念図にモデル化したアニメーションを取り入れた(第6図)。



第6図 デジタル教材の例

(4) ネットワークの構築

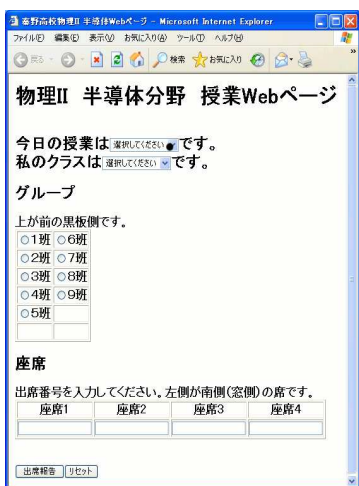
ア 教室内LAN

物理実験室内にLANをつなぎ、授業サーバを設置する。ルータを設置することにより、ノートパソコン(生徒用PC)の設定を変更しなくても使用できるようにする。授業サーバのOSにはFreeBSDを使用した。授業サーバに

は授業Webページを提示するWebサーバとしてApacheを、実験データを蓄えるデータベースサーバとしてMySQLをインストールした。プロジェクトは教員用コンピュータ（教員用PC）に接続し、教材提示や各班の実験結果の表示をする。

イ 授業Webページ

授業の最初に授業Webページにログインする（第7図）。このWebページには、その時間に使用するアニメーションや実験データを処理する教材が用意されている。



第7図 授業web ページの例

ウ データベースサーバ

実験・観察を行う前に立てた予想を、Webページを通じてデータベースに集計し、クラス分布をグラフに表示する。自分の予想と、他の生徒との予想の違いや分布を知ることができる。

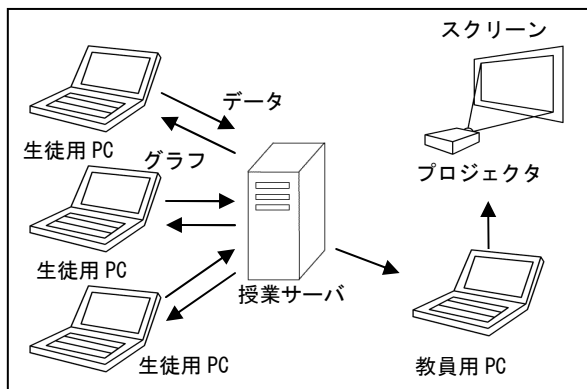
また、実験したデータを机上のノートパソコンに入力し、サーバに送信すると、サーバはグラフを返す。各班のデータはサーバに蓄えられる。

(5) 実験の分担・共有

LEDの色ごとの発電実験は4通りの組み合わせに分けられる。クラスを4つのグループに分け、実験を分担する。

各班は、自分の班の実験結果と既習事項から予想理由を考え、他の班のグラフを予想する。班ごとに結果を発表し、各自予想が正しかったか確かめることができる。さらに、班の結果を発表したり、次の発表班のグラフを予想することは、表現能力を高める機会ともなっている。

各班の結果を発表する際は、サーバから呼び出した



第8図 教室ネットワークの概念図

データからグラフを作成し、プロジェクタに投影して、

全員で確認することができる（第8図）。

(6) 毎時間の授業展開

第1時 半導体の結晶を観察する。次に温度変化による半導体の電気抵抗の変化を観察する。アニメーションで、電気抵抗の変化の仕組みについて理解を深める。

第2時 赤色LEDと緑色LEDを乾電池1本（約1.5V）、及び2本（約3.0V）を用いて点灯させる。点灯させるために必要な電圧と、接続の向きがあることを理解する。次に赤、緑、青LEDの色ごとに点灯に必要な最小電圧を測定する。アニメーションで色の波長と電圧の関係の理解を深める。

第3時 LEDによる発電を観察する。次に色の違いによる、受光側のLEDの発電電圧を測定する。色の組み合わせごとに実験を分担し、他の班の結果を予想し発表する。

第4時 アニメーションで発電の仕組みの理解を深める。次に半導体を利用したペルチェ素子を用いて温度差が生じる様子を観察する。逆にペルチェ素子に温度差を作り出し、発電できるか予想し観察する。

なお、4時間で扱う観察・実験は第1表のとおりである。

第1表 時間ごとの観察・実験の内容

時間	番号	観察・実験内容
1	観察 1 ①	半導体結晶の観察 半導体の抵抗率測定
	観察 1 ②	温度変化による半導体の抵抗率変化の測定
2	観察 2	LED の点灯操作
	実験 1	赤色・緑色・青色 LED が点灯し始める電圧の測定
	実験 2	赤外線・紫外線 LED が点灯し始める電圧の測定
3	観察 3	赤外線・赤色 LED の発電の観察
	観察 4	光のスペクトル観察
	実験 3	色別・LED 別の発電電圧測定
4	観察 5	ペルチェ素子による熱移動・熱による発電の観察

2 検証授業

第3学年物理II選択者3クラス（77名）を対象に検証授業を各4時間行った。授業内容の説明や設問、実験手順を記述したワークシートを毎時間使い、単元終了後は1冊に綴じた。

第1時

<観察>授業の最初にケイ素の結晶を各班に1つずつ配付し、観察した。金属の様な光沢に生徒は興味を引かれ、関心が高まった。「ケイ素はとてもきれいだった。でも、金属ではないので不思議だった。」という感想が見られた。

デジタルテスタを用いて手元にある導体（金属）と不導体の抵抗値の測定をした。生徒は電子部品以外に身近なものの抵抗値を測定する機会はあまりなく、抵抗値の桁の違いを実感していた。

次に、半導体の一例であるケイ素と金属の比較をするために、10W白熱電灯のフィラメント（タングステン）による抵抗の変化を観察した。

＜デジタル教材＞物理的条件を設定できるアニメーションで、金属の温度が高くなると、抵抗率が大きくなることの理解を深めた。授業後の自己評価には、アニメーションによって「自由電子の存在が分かった」と概念の形成ができたことを示す記載があった。

＜予想・実験＞ケイ素の温度による抵抗の変化を実験する前に、結果を予想した。金属のような光沢を持つことから、金属と同じような変化をすると予想する生徒や、半導体という名前から、金属に比べ半分くらい上昇すると予想する生徒、キャリアの熱運動のイメージから予想する生徒がいた。

＜デジタル教材＞実験を行った後、半導体内のキャリア数と温度の関係のアニメーションを見た。

第2時

＜観察＞赤色LED、緑色LED、単三乾電池1個、2個直列の部品を配付した。どのように接続するとLEDを点灯させられるか、ということを見つけ出す。LEDを知っていても電池に直接接続し点灯させた生徒は少ない。中には電圧をかけすぎ、赤色LEDを破損する生徒がいた。このことから、発光に必要な電圧と色の関係を身をもって体験していた。

＜予想・実験＞3色LEDを使った発光電圧の測定では、既習内容である光の波長（振動数）とエネルギーの関係を考えて予想している様子が見られた。なお、実験2は時間の関係で省略した。

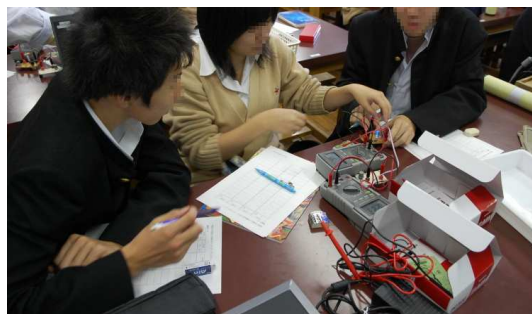
＜デジタル教材＞LEDの発光原理のアニメーション画面は前時に使用したものを利用したため、図中の記号の説明がなくても提示することができた。

第3時

＜観察＞光によるLED発光実験器に100W白熱電灯の光を当て、発光の様子を電子オルゴールで観察した。電子オルゴールの曲の鳴り方の違いで、発光電圧の違いを聞き分けることが容易にできた。LEDは光を出す装置だと思っていた生徒は、光のLEDによる発光実験に興味を抱いた。また、発光側の波長と発光の電圧の関係の導入として、分光器によるスペクトル観察を行った。白熱光のほか蛍光灯や、自然光のスペクトルを自主的に観察する様子が見られた。

＜予想・実験＞LEDによる発光電圧測定では、装置の一部を前の時間に使用しているので、手順はスムーズであった（第9図）。測定結果を机上のノートパソコンの授業Webで入力し、ネットワークを通じてサーバから生徒にグラフを返した。一瞬にしてグラフが作成され

ることに興味を示していた。



第9図 LEDによる発電電圧の測定の様子

生徒は自分の班のグラフの形と既習事項をもとに、他の班の結果を予想した。その際、数値（定量的分析）にこだわるのではなく、グラフの形（定性的分析）に注意することを指示する。予想理由を考える時間が少なかったが、班員と相談している場面が見られた。

結果発表を行うときに、教室正面のスクリーンにプロジェクタで発表班のグラフを提示した（第10図）。自分が測定したグラフが、その場でスクリーンに映し出されていることに、驚きを感じていた。



第10図 発表の様子

次に班の代表者がグラフの特徴を簡潔に述べた。発表班が増えるに従い、発表内容の要点がまとまり、発表技術の向上が見られた。

第4時

＜デジタル教材＞前時の発電の機構をアニメーションで説明すると自分達の実験の意味がわかり、納得をした様子であった。

＜観察＞ペルチェ素子に電圧をかけることにより、温度差が生じる観察を行った。

＜予想・実験＞

ペルチェ素子に温度差が生じることにより発電するか、という実験の予想を立てた。光によるLEDの発電実験の連想や、電子の熱運動によるイメージから正しく予想理由を立てている様子が見られた。

半導体、ダイオードの学習を通して、光とエネルギーの関係、エネルギーの変換について学習したということに気付いている様子が見られた。また、ペルチェ素子という新しい素材を使用することで、科学・技術の発展性について考えをめぐらす生徒がいた。

授業全般的な感想として、予想理由が違っていても、「間違いからいろいろ学べた」と記述する生徒がいて、考える意義に気付いていた。

3 検証授業のまとめ

(1) 授業の分析

生徒のワークシートの記述内容、毎授業後に記入した自己評価表、検証授業後に行ったアンケートから分析を行った。

ア ワークシート

予想をグラフの形で記入し、その理由を記述する実験3では、予想したグラフを記入した生徒は26%であり、理由の記述は5%であった。また、実験3以外の実験前の予想理由を集計すると、既習事項を利用し論理的な予想理由を記入している生徒の平均は15%であった。これより予想理由を記述することが困難であることが分かる。

しかし、予想理由の記述内容を見ると、第1時には、「半導体だし、電気も流れたから」というように根拠の希薄な知識から予想理由を立てているが、第4時になると、「フレミングの左手の法則を習ったとき、電流を流すと力が働いた。逆に力を加えると電流が流れた。それと同様、電流を流したときに起こる現象を人為的に起こせば電気は流れる」というような既習事項を組み合わせた予想理由が見られるようになった。また、記述量も多くなる傾向が見られた。

感想文には、「予想を立てるのは難しかった」「もう少し時間をかけてやりたかった」という記述があり、予想を立てることに慣れていないことや、時間を十分に確保する必要があることが分かる。

また、「この続きを知りたくなった」「予想は外れたけれど現象は理解できた」という記述から、学習への意欲の高まりや、予想を立てて確かめることの意義に気付いた生徒が見られた。

イ 自己評価表

授業に興味を持って取り組めたかという質問を毎時間行ったところ、「そう思う」「どちらかというと思う」を合わせると、常に96%以上の生徒が授業に興味を持って取り組み、興味を高く保ち続けられたことが分かった。ただし、第4時には「そう思う」が減少した。これは、前時からの実験との関連が途切れたことと、生徒自身による実験操作がなかったためであると考えられる。

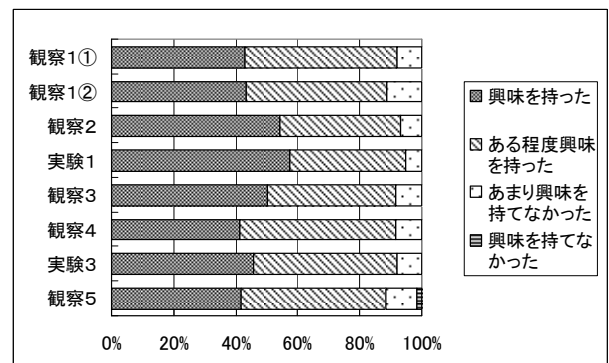
予想理由を立てることができたかという質問に対して「そう思う」「どちらかというと思う」を合わせると4時間分を平均して73%となり、予想理由を持って実験に臨んでいた様子がうかがえる。なお、第3時は次の分野への橋渡となる難度が高い観察・実験であり、予想を立てられた生徒は57%であったが、興味は高く関心の強さをうかがえた。

授業で扱った概念をイメージにすることができたという質問には「そう思う」「どちらかというと思う」は毎時90%以上となり、概念を獲得できたことが分かる。

ウ アンケート

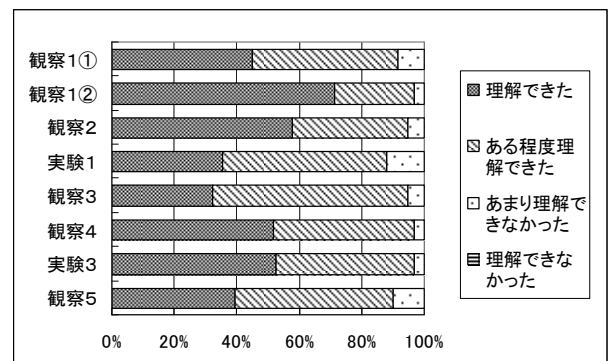
アニメーションは理解の助けになったか、という質問には98%の生徒が「助けになった」「やや助けになった」と回答しており、アニメーションの有効性を示している。その理由として、「口頭だけの説明では概念を作り出すことができない」ということをあげている。また、「単に覚えるだけでなく納得することができる」という感想があり、理解の深まりに役立っていることが分かる。全員が同じアニメーションを見ることによって、正しい概念に基づいて授業を進めることができるので、「(生徒それぞれが) 誤ったイメージを連想する可能性が低い」という感想が見られた。

実験に興味を持ったかという質問には「興味を持った」「ある程度興味を持った」を合わせると、すべての観察・実験で88%以上であり、生徒が興味を持っていたことが分かる(第11図)。



第11図 実験に対する興味

また、観察・実験による学習内容の理解を聞いた質問では、「理解できた」「ある程度理解できた」を合わせると、すべての観察・実験で88%以上であり、観察・実験が学習内容の理解に役立ったことが分かる(第12図)。

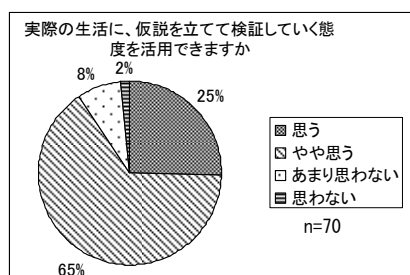


第12図 観察・実験による学習内容の理解

興味を持ったという回答が多かったにもかかわらず、

学習内容が理解できたという回答が比較的少なかった実験1や観察3では、実験に関するアニメーションを用意していなかったり、アニメーションの内容が十分ではなかった。アニメーションが概念の理解だけでなく、実験の理解に役立っていることが分かる。

第13図に示すように、「実際の生活において、今回体験した仮説を立て仮説を検証していくという態度は活用できると思いますか」という質問には、87%の生徒が「思う」「やや思う」と回答しており、仮説を立てて検証する経験をしたことにより、実生活に活用できると感じていたことが分かる。



第13図 仮説を立て検証する態度の活用

(2) 授業の考察

可視化の困難な学習内容であっても、観察・実験の工夫によって興味や学習意欲が持続していたことが、自己評価やアンケートから分かる。一方、実験と実験の関連がとぎれたときに興味が減少したことから、実験同士の関連が重要であるといえる。また、アニメーションによってミクロな世界の物理概念の動的なイメージが獲得され、その概念を利用して未習の現象についても予想できていた。これにより、アニメーションはイメージの獲得とともに、理解の深まりも助けていたことが分かる。可視化の困難な現象を理解するには、観察・実験とアニメーションが相補う展開が重要であるといえる。

ワークシートと自己評価から判断すると、生徒にとって観察・実験の前に短時間で予想理由を記述することは困難であったが、予想理由を考えていたことが分かる。また、その過程で予想理由を立てることの意義に気付くことができた。

仮説に基づき予想を立てる活動を繰り返すことで、予想理由の記述に深まりが見られる生徒がいたことや、意欲的に実験結果を検証しようとした姿勢が見られたことから、今回の検証授業は証拠に基づいて判断するという考え方を身につけ、科学的リテラシーを育成するきっかけになったといえる。科学的リテラシーの育成には、このような繰り返しを継続し、長い期間にわたり行う必要があると考える。

生徒は、コンピュータネットワークで予想の集計を見たり、互いの実験結果を予想し発表しあうことで、自分と違う考え方をする人がいることに気付いた。そして、自分の考えを論理的に整理する中で、人の考えから自分の考えを客観的に見ていた。これにより、自然現象に対する多くの視点を意識することができ、自

分では気付かなかった考え方を学ぶことができた。

まとめ

今回の研究から、抽象度の高い分野であっても、観察・実験や展開方法の工夫によって興味・関心が高く維持でき、学習意欲が高まることが分かった。また、アニメーションは概念の形成を助けるだけでなく、学習内容の理解を深めるためにも有効であった。さらに、ネットワークを活用することで、考えの多様性を知ることができるとともに、問題意識や意欲が高まることが分かった。また、実験を分担・統合する過程で、互いの考え方を学びあうよう工夫した展開が、理解の深まりに役立つことが分かった。

仮説に基づき予想を立て検証する過程を繰り返すことは、科学的リテラシーの育成のきっかけとなった。また、予想の理由やそれに基づく結果を発表することで、科学的リテラシーを相互に高めあうことができた。科学的リテラシーを定着させ、高めるためには、さらにこのような機会を積み重ねることが必要である。

おわりに

生徒が積極的に実験に取り組む姿勢や、結果予想について話し合っている様子を見ると、考えることの難しさを感じつつも楽しんでいる様だった。この様子から、自分なりに予想を立て、問題意識を持って物事を見る経験をすることで、解決すべき課題に対応する態度が養われていくことを確信した。

自然環境や社会の変化に対応するために、科学的リテラシーは、これからますます注目すべき能力の一つになるであろう。科学的リテラシーを効果的に高める方法について、今後も研究を進めていきたい。

引用文献

国立教育政策研究所 監訳 2004 『PISA2003年調査 評価の枠組み OECD生徒の学習到達度調査』 ぎょうせい p.9

参考文献

愛知物理サークル・岐阜物理サークル 1988 『いきいき物理わくわく実験』 新生出版
 国立教育政策研究所 編 2004 『生きるための知識と技能2 OECD生徒の学習到達度調査(PISA)』 ぎょうせい
 文部科学省 2004 「国際数学・理科教育動向調査の2003年調査 (TIMSS2003) 理科に関する結果」 (http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/16/12/04121301/003.htm(2007/4/25取得))
 竹内淳 2007 『高校数学でわかる半導体の原理』 講談社