

高等学校物理における実験の取り入れ方

－電気学習への誘い－

M14EP014

八巻 森平

1. はじめに

山崎敏昭ら(2010)は、2006年に大学に入学した学生に対する大規模な高校物理実験アンケートを実施した。その結果、日本の高校物理実験は物理Ⅰ、Ⅱあわせて生徒実験が平均6.1回、演示実験が8.6回とかなり少なく、中でも2割ほどの高校で生徒実験が行われていないこと、実験の多い学校とそうでない学校との差が非常に大きく、この状況が全国各地で存在していることが明らかになった。国立教育政策研究所教育課程研究センターが実施した平成20年度高等学校理科教員実態調査によると、「観察実験を行うにあたって障害になること」の項目では、物理Ⅱで、授業時間の不足、大学入試への対応で時間不足、設備備品の不足、準備片付けの時間不足などが並び、「授業を充実させるために必要な項目」でも、教材研究の時間確保、準備片付けの時間確保などが上位に挙がっている。教師の多忙や実験設備の不足は実験・観察活動の大きな妨げになっている。

しかしながら、高等学校物理において、実験・観察を行うことは非常に重要であることは周知の通りである。

例えば、学習指導要領理科では、「小・中・高等学校を通じ、発達の段階に応じて、児童が知的好奇心や探究心をもって、自然に親しみ、目的意識をもった観察・実験を行うことにより、科学的に調べる能力や態度を育てる」としており、観察・実験は重要視されている。また、文科省による小学校理科の観察、実験の手引きの中においても「児童は、観察、実験などの活動に対して、大変意欲的に取り組む」と述べたうえで、「観察、実験などの計画

や方法は、予想や仮説を自然の事物・現象で検討するための手続き・手段であり、理科における重要な検討の形式」としており、実験・観察活動は重要視されている。これは高等学校でも同様であろう。

本研究では、高等学校物理 単元「電気とエネルギー」における実験の取り入れ方、特に単元導入時の1時間目における実験の取り入れ方を、高等学校の実態に即して考察する。

2. 研究の方法

(1) 約半年の間、県立A高等学校で参与観察実習(200時間)を行う。

(2) 授業観察や先行研究から得た知見を参考に、「物理基礎」の単元「電気とエネルギー」における実験の取り入れ方の仮説的な枠組みを構成する。

(3) 実験の取り入れ方の仮説的な枠組みを元に、授業を構成し、「物理基礎」履修クラス(2年生)2クラスを対象に実践する。

(4) 実践から明らかになったことをまとめ、新たな課題を見つける。

3. 高等学校での授業観察で得た知見

実習先のA高等学校の生徒は実験をすることを好む傾向が顕著に見られた。ピーナッツを燃やして試験管の中の水を熱する実験では、生徒は予想外の結果に驚きを感じていた。「ピーナッツで試験管の中の水がすべて蒸発するとは思わなかった。」「ピーナッツって燃やすと独特のにおいがする。」「燃やしたときにすごい熱気を感じた。」等を興奮気味に言う生徒がいた。また、気柱官におんさを当てて共鳴させる実験では、「本当に音が大きくなる。」

「こんなに音が大きくなるんだ。」等の発言をしている生徒がいた。まさしく、実感を伴って理解をする生徒の様子が見られた。生徒にとって、実験は興味喚起の対象であり、概念構成をするための手段の一つである。

A 高等学校のB先生の「物理基礎」の授業の中には様々な工夫があった。例えば、「めあて」を黒板に貼り、授業のねらいを焦点化すること。高等学校物理では一般に実験が行われていない現状がある一方で、頻繁に実験が行われていること。全ての時間で独自のワークシートを使っていること、などである。高等学校物理は内容が難しいと言われることがあるが、B先生は、物理を分かりやすくする工夫を重ねているということが分かる。ねらいがある授業や、ワークシートを使って進む授業は生徒にとって慣れ親しんでいるものであるため、本研究での授業も同様に、「ねらい」を貼ることやワークシートを作成するようになりたい。

4. 先行研究から得た知見

先行研究を精査し、授業における実験の位置づけを吟味した。

まず、はじめに、「小学校理科 実験の手引き」における、実験の位置づけを紹介する。実験の手引きでは理科の学習展開と観察、実験の位置づけを生徒の問題解決の過程と関わらせながら規定している。

その過程は、①自然現象への働きかけ(関心や意欲をもって対象とかかわることによる問題発見とそれ以降の学習活動の基盤を構築する。)⇒②問題の把握・設定(対象となる自然の事物・現象から問題意識を醸成するように、意図的な活動を工夫する。)⇒③予想・仮説の設定(問題に対する児童の考えを顕在化する。)⇒④検証計画の立案(予想や仮説を自然の事物・現象で検討するための手続き・手段となる。)⇒⑤観察・実験(問題解決の中核である。児童による意図的・目的的な活動であ

る。)⇒⑥結果の整理(実験の装置や状況に依存しない妥当な実験結果を出す。一定の視点を基にした観察結果を出す。)⇒⑦考察(観察、実験の結果を吟味する。予想や仮説の妥当性を検討する。)⇒⑧結論の導出(児童による問題解決を通じた科学的な見方や考え方を養う。)、と整理される。

上記の過程をみると、観察・実験によって、問題解決場面が作り出されていることが分かる。実験の手引きでは、「観察、実験の前後の学習活動が観察、実験の位置づけを明確にする。」と記述されており、「予想や仮説設定」の時間と「考察」の時間を特に重要視している。

構成主義的見解に基づく授業のモデルでは、ある事象に対して疑問を持つため、また、クラス全体の討議の中での解釈を深めるために実験を行っている。このことに対して、大野、栄三らは「構成主義において実験の役割は、学習者に経験を与えることである。教師は学習者の誤った常識を明確にしながら、常識に基づく予想とは矛盾する現象を実験に使うことで学習者に経験させる。さらに実験を通じて経験を重ね、学習者が教師のねらい通りに現象を解釈し始めるように仕向ける。つまり科学知識に基づく説明を学習者が構成するように、一連の操作として実験を設定するのである。」と述べている。

先行研究から得た知見をもとに、本研究においては、実験の位置づけを3点に絞る。一つ目は「疑問やねらいを明確にするための実験」、二つ目は「予想や仮説と矛盾する現象を学習者に経験させるための実験」、三つ目は「実感を伴った理解を伴わせるための実験」である。この3点をもとにした、「電気とエネルギー」における、実験の取り入れ方を考察する。

5. 「電気とエネルギー」の指導にあたって

本研究においては、特に単元「電気とエネ

ルギー」の導入時1時間目における実験の取り入れ方を考察する。そのために、まず、単元「電気とエネルギー」の1時間目のねらいを詳細に考察した。

(1) 電気学習の導入としてふさわしいねらい — 粒子イメージ

物理基礎単元「電気とエネルギー」の基本的な単元の計画は次表1のとおりである。

表1 単元の計画

配当時間	指導のねらい
1 本時	静電気と電子について理解させる。
2	電流、電圧、電気抵抗の相互の関係と熱作用を理解させる。
3	電流の種類と電磁波について理解させる。

この単元は、電気現象を粒子概念で捉えることにより理解しやすくなると考えられる。

高等学校「物理基礎」では、単元「電気とエネルギー」の前に、単元「物体の運動とエネルギー」を学習している。「物体の運動とエネルギー」では、物体を理想的な粒子イメージで捉えて学習をする。言い換えれば、粒子アナロジーにより「物体の運動とエネルギー」の学習問題を解決してきている。要するに、生徒は粒子イメージにより学習問題を解決することが可能である。例えば、重力場による位置エネルギー ($E=mgh$) と電場による電位差 ($V=qEd$) は、粒子アナロジーによって、同様の図を用いて描くことができ、理解しやすくなる (図1参照)。また、「物理基礎」履修後の「物理」においてクーロン力を学ぶ際に、粒子イメージは大切である。

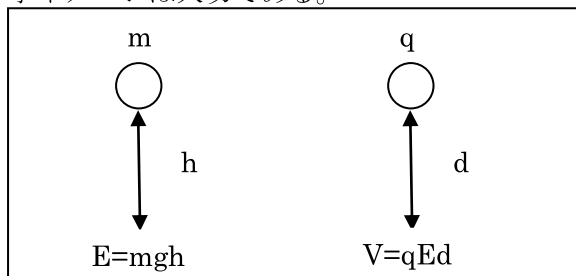


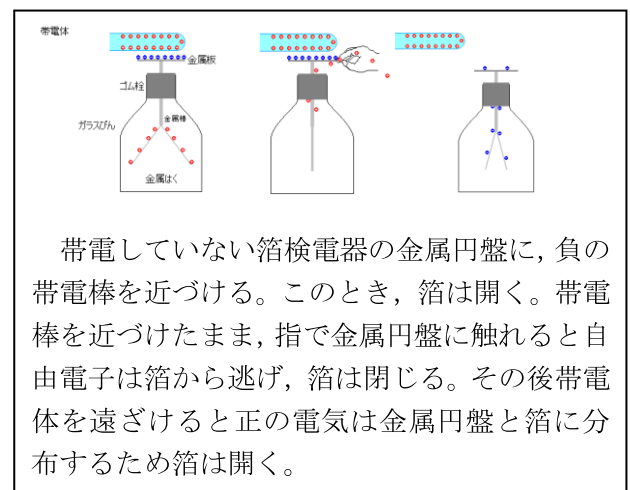
図1 粒子イメージによる重力場と電場

クーロン力や静電気、電流、電圧、電気抵抗などは、粒子概念を用いて十分説明できるものである。電気現象を粒子概念で捉えることは、学習に系統性を持たせ、理解しやすくするために大切な要素になる。さらに、岩手大学の村上祐は『「マクロな科学現象を小さな粒で考える」学習を通して、小さな粒によりどうしてそうなるのかを考えさせ、理解させることが必要である。』と言っている。本単元において、粒子イメージを使って電気の学習をすることによって、実験をとおして実感を伴った理解をさせることが可能である。そこで、本単元の1時間目のねらいは、「粒子イメージを電気学習に適応できるようにすること」とした。

(2) 電気学習の導入としてふさわしい教材 — 箔検電器 — 中学校理科との接続

電気学習の実験教材は多数存在する。一方で、「粒子イメージを電気学習に適応できるようにすること」を狙いとする実験教材は絞られてくる。本研究では、箔検電器が電気学習の導入としてふさわしい教材であると、仮説的に設定した。下記に理由を示す。

箔検電器の箔が開くという現象は、粒子イメージを使うことによって十分説明が可能である。図2のように、箔検電器が開くのは電子の動きを用いて説明できる。



帯電していない箔検電器の金属円盤に、負の帯電棒を近づける。このとき、箔は開く。帯電棒を近づけたまま、指で金属円盤に触れると自由電子は箔から逃げ、箔は閉じる。その後帯電体を遠ざけると正の電気は金属円盤と箔に分布するため箔は開く。

図2 箔検電器が開く原理

生徒は中学校理科において、「電子が負の電気を帯びていること、同種の電気が反発すること」を学習してきている。さらに、金属の中には自由電子が存在していることも学習してきている。そのため、箔検電器が開く現象について、既有知識を使い、十分に推論することが可能ではある。

箔検電器の実験を行い、「どうして箔が開くのか」(疑問)を考えさせることにより、粒子イメージを電気学習に適應できるようにすることはできると考えられる。

また、箔検電器を電気学習の導入として取り入れることにより、中学校理科との接続をすることができる。箔検電器は中学校理科においても学習する機会がある。ただし、中学校理科における箔検電器は「静電気を帯びたものに近づけると箔が開く」という現象的な説明にとどまっている。高等学校物理において、「どうして(なぜ)箔が開くのか」(理由)を考えることによって、中学校理科の既有知識を統合し、既有知識を構造化しながら学習を進めることができる。

一方で、箔検電器が配備されていない中学校もあり、中学校段階で箔検電器の実験を実際に行っていない生徒も存在している。しかし、箔検電器の仕組みは複雑ではなく、初めて箔検電器を見る生徒にとっても静電気によって箔が開くことは容易に観察できる。また、中学校理科で出来なかった実験を、高等学校物理で補充することもできるため、箔検電器を電気学習の導入に行うことは中学校理科と高等学校物理を接続するための一つの教材にもなる。

(3) 学習の流れ

電気学習導入時にふさわしい教材と思われる箔検電器を、先行研究から得た知見を参考にしながら授業を構成してみると、以下の表2のようになる。

表2 学習の流れ

学習活動	指導上の留意点
------	---------

① めあてをつかむ。	箔検電器に帯電棒を当てると、箔検電器が開くことを確認する。 「めあて： 箔検電器の中で何が起きているか考えよう。 」を黒板に掲示し、確認する。
② 既習知識の確認をする。	同種の電気はしりぞけ合い、異種の電気は引き合うこと。金属の中には自由に動くことができる電子がいること。電子はマイナスの電気を帯びていること。
③ 箔検電器で実験をする。	各実験前に実験結果の予想をワークシートに記入する。実験結果をまとめる。生徒間、グループで解釈を話し合う。自分の現象解釈(仮説・意見)をワークシートに記入する。
④ 専門科学の考え方を聴く。	デジタル教材を用いて、粒子が動く様子を確認する。科学的解釈(意見)をワークシートに記入する。
⑤ 学習感想を書く。	

6. 授業実践についての省察

構成した授業を2クラスに実践する機会があった。1クラス目の授業実践後に、ミニ研究会と授業反省を行った。そこで挙げた課題をもとに、2クラス目における授業構成を再編成した。

まずは、1クラス目の授業実践における生徒の学習感想を挙げる。

学習感想では「箔検電器の中で何が起きていたのか、グループで話しあったり実験をしたり、科学的な意見を聴くことによって、良く分かったかな。」という質問を設けた。

1クラス目の結果は以下のとおりである。

	そう 思う	そう 思わ ない	分か らな い	ほか の考 え	未記 入
人数	21	0	1	0	1

23名中21名がそう思うと答えている。学習感想の内容で特徴的なものを挙げると

最初にまず電気を帯びているとは思わなかったが、電子の動きによってまったく予想できないことができたので驚いた。

自分で考えたときはなぜそうなるのかわけがわからなかったが、科学的な意見を図と共に聴くことによって、プラスとマイナスの電気の動きからなぜそうなるのかがしっかりと理解できたから。

＋と－の電子によって、すべて箔の動きの理由がおおるため、納得した。指に電気が流れることも＋でよくわかったから。

上記3つの感想は、電気現象を粒子の動きによって捉える事が出来た感想である。当初の予想と異なる現象への「驚き」。これが実験の醍醐味であろう。そして、筋の通った理由づけ。3つ目の感想は、「＋の電子」という不十分な理解を抱いたままではあるが、今後の学習により、＋の電子は存在しないことを理解し、十分に科学的な知識を構成する可能性がある。

実験をし、見ることで確かめることができたから。又、図を用いた解説動画によって電子の移動が理解できた。

実感を伴った理解の深まりが、ここには見られる。仮説を立てることにより、目的意識を持って実験に取り組めた結果、理解が深まったと思われる。

先に予想をしてから実験をしたのでより理解が深まった。また、予想していたことが外れていたりしたのでなぜそうなるのか考えることができた。

「先に予想をしてから実験を」することは、生徒にとっての科学的な葛藤を生じさせる。この葛藤が、より矛盾のない科学的な理解を獲得することにつながると考えられる。

次の様な感想もあった。

中学の復習を一度やったので、その後の説明がしなやかに頭に入ってきて分かりやすかった。実験が楽しくできた。

中高接続をふまえた授業をすることにより、生徒の理解が深まっている様子がわかる。やはり、中高接続の観点は有効である。

ミニ研究会と授業反省では、学習感想や授業の様子を踏まえて次のような意見が上がった。

(1)実験前に、粒子の動きを動画で見せた方が、生徒の立てる仮説がより科学的になり授業がスムーズになるのではないかな。

(2)ワークシートへの記入時間を十分確保するためには、グループでの話し合いの時間をあえて取る必要はないのではないかな。

(3)板書の文字サイズが小さい。

(4)実験機材が途中で不具合が生じてしまっていたものもあり、予備を用意した方が良い。

(3)は板書意識の未熟、(4)は実験指導の具体的な予測、(2)は50分間の授業内での活動の具体的な予測、の問題を指摘されたものである。対して、(1)は、生徒による仮説設定に「専門科学的知見」(の一部)を事前に挿入すべきかどうか、という授業設計に関わる本質的な問題であり、今後の考察課題ともすべきものである。

上記の意見を踏まえ、2クラス目の実践は改善を図り、実施した。2クラス目の授業実践では、先行オーガナイザーとして箔検電器の中で粒子が動く様子を途中まで見せることにより、粒子を用いた仮説を立てやすくする

ようにした。

2 クラス目の「箔検電器の中で何が起きていたのか、グループで話しあったり実験をしたり、科学的な意見を聴くことによって、良く分かったかな。」という質問に対する結果は以下のとおりである。

	そう 思う	そう 思わ ない	分か らな い	ほか の考 え	未記 入
人数	15	0	0	0	1

分からないと答えた生徒は一人もおらず、そう思うと答えた人は16名中15名である。

学習感想では、

グループの仲間と話しあう中で自分たちの意見を交わし合って理解を深めたため。実験後の映像での解説も分かりやすかったため。

実験をして、グループで話し合った後に、解説を聞いたから教科書などで読むより理解が深まった。

といったように、予想や仮説を立てた後に実験を行い、グループにより実験結果の解釈を交流することで、理解が深まったことを実感できた生徒の存在が確かめられた。教科書だけでない理解の重要性も示されている。

ただし、学習感想では1クラス目とは違う内容の記述が見られた。

電気の性質に基づいて考えると予想通りの結果に至ったから。

これは、先行オーガナイザーが働いた結果、「電気の性質に基づいて」活発に話し合いが行われ、自分たちから概念構成を図る姿が見られるようになった結果である。仮説の段階で矛盾の少ない科学的な考え方が出来ており、仮説を基にした予想と実際の実験結果が一致していたため、生徒自身が立てた仮説を支持しやすかったからだと思われる。「グループで話し合ったことによって理解できた」と記述する生徒が10名も存在し、1クラス目よりも

割合が高い。他方で、電子の動きに注目して学習感想を書いた生徒は1クラス目よりも割合が低く、わずか3名にとどまってしまった。

7. おわりに

本研究は、高等学校における実験の取り入れ方に着目し、電気学習の導入としてふさわしい、実験を取り入れた授業のあり方について模索したものである。来年度は、他の単元も含め、望ましい授業の在り方を考察し、実験を取り入れる必然性についての実践的考察をさらに深めていきたい。

また、授業実践において板書やワークシートなどがまだまだ構造化できていないという自身の力量不足も自覚された。教育実践を積み重ね、力量形成も試みたい。そのさい、実験作業量や話し合い・ワークシート記入時間の具体的な予測を徹底し、50分間の授業内で活動を盛り込み過ぎない、見通しの力が必要だということも自覚されねばならない。

引用・参考文献

- ◆ 国立教育政策研究所教育課程研究センター(2009) 「平成20年度高等学校理科教員実態調査」
- ◆ 文部科学省(2010) 高等学校指導要領理科編理数編, 実教出版
- ◆ 文部科学省(2011) 小学校理科の観察, 実験の手引き
- ◆ 村上祐(2010) 小・中理科における望ましい粒子概念教育の提言—国の調査結果の拝啓および独自調査の分析から—, 岩手大学教育学部研究年報第69巻 pp. 73-87
- ◆ 大野栄三(1999) 科学教育カリキュラムにおける実験の役割, 北海道大学教育学部紀要 pp. 1-30
- ◆ 山崎敏昭ら(2007) 高校物理実験の実態—2006年大学新入生からの分析—物理教育 55-1, 日本物理教育学会