



Tokyo Gakugei University Repository

東京学芸大学リポジトリ

<http://ir.u-gakugei.ac.jp/>

Title	学習者主体の理科授業の開発：次世代中核的理科教員の養成を目指して(fulltext)
Author(s)	植松,晴子; 佐藤,尚毅; 松本,益明
Citation	東京学芸大学紀要. 自然科学系, 70: 15-29
Issue Date	2018-09-28
URL	http://hdl.handle.net/2309/150089
Publisher	東京学芸大学学術情報委員会
Rights	

学習者主体の理科授業の開発

—— 次世代中核的理科教員の養成を目指して ——

植松 晴子*¹・佐藤 尚毅*²・松本 益明*¹

物理科学分野

(2018年5月30日受理)

UEMATSU, H., SATO, N. and MATSUMOTO, M.: Development of Learner-centered Science Program: Toward Fostering Core Science Teachers for Next Generation. Bull. Tokyo Gakugei Univ. Div. Nat. Sci., 70: 15-29. (2018) ISSN 1880-4330

Abstract

Observations and experiments in science are considered to be effective for developing issue-raising and problem-solving abilities that are necessary in these turbulent times although traditional science classes used to put emphasis on transferring knowledge and skills. We have developed and practiced programs that reform them into those where students are actively engaged in. It will lead to developing a training curriculum for a teacher who plays a core role in school scenes.

Keywords: learner-centered, active learning, teacher training, experiments and observations

Department of Physics, Tokyo Gakugei University, 4-1-1 Nukuikita-machi, Koganei-shi, Tokyo 184-8501, Japan

要旨: 変化の速い現代社会において必要な問題設定能力・問題解決能力の育成には、理科における観察・実験が有効であると考えられる。理科教員として学校現場での中核的役割を担う教員養成カリキュラムの開発を視野に入れ、大学の実験・演習授業を知識・技能の伝達に重点が置かれた受動的なものから、学生が主体的に関与する能動的なものへと改革するテーマを開発し実践した。

*1 東京学芸大学 基礎自然科学講座 物理科学分野 (184-8501 小金井市貫井北町 4-1-1)

*2 東京学芸大学 広域自然科学講座 宇宙地球科学分野 (184-8501 小金井市貫井北町 4-1-1)

1. はじめに

情報化が急速に進み、それにともなって新しい課題が生ずる現代の社会においては、知識や技能の伝達に加えて、それらを総合して活用する問題解決能力の育成がより強く求められている。理科の学習では、観察・実験を中心とした活動がそのような能力の育成に有効である。新学習指導要領¹⁻³⁾では、獲得した知識・技能を社会の中でどう活用していくかという問題設定能力・問題解決能力の育成が一層重要視され、「探究」が強調されている。理科を専門とする教員は、中学校・高等学校において、教科内容の十分な理解に基づき自ら観察・実験を計画し、安全に実施することはもちろん、小学校においては、他の教員に協力できる中核的役割を果たすことが求められる。一方で、教員志望の理科の学生に対する、生徒実験の実施能力育成には未だ課題がある。その要因として、大学での観察・実験が主に知識・技能の伝達に重点が置かれたものであること、学生の内容の理解が不十分で実験の目的そのものを十分に把握できないことが挙げられる。次世代を担う理科教員養成のための観察・実験の基礎教育には、予め定められた手順をたどるばかりではなく、能動的に考え、知識・技能を統合して活用する問題解決型の課題を積極的に取り入れていく必要がある。教員養成大学の理科実験には、学習指導要領の教材を網羅すること以上に、実験の過程そのものの意義や発展的内容も含んだ深い理解に学生が達することが求められる。また、このような問題意識の下、固定化された学生の授業観への働きかけと各附属学校・大学間で連携したカリキュラムの検討が必要である。

その第一歩として本研究では、大学の授業で行われている実験や演習を、知識・技能の伝達に重点が置かれた受動的なものから、学生が主体的に関与して実験・演習を行う能動的なものへと改革するテーマを開発し実践した。目的にしたがって情報を収集し、実験や演習の計画、実施、分析を行うという一連の過程に学生が主体的な関与をすることで、他の事項にも応用できる汎用的な能力と自然科学に対する姿勢を育成させることを目指す。新しい実験・演習のテーマは、単に学校現場で行われる授業の内容をそのまま取り入れるのではなく、基本的事項を確実に定着させながら、先端的な内容にも知見を広げて専門性を保証するもの、より深い理解を求め科学的な考え方を育むものを精査した。特に専門性・抽象性の高いテーマでは、学生の意欲を喚起し能動的に学習の準備を行うように働きかける内容を検討した。実践の中では、教員や

ティーチング・アシスタント (TA) が議論をファシリテートして、結果を得る過程の重要性を強調するとともに、学生の能動的活動を活性化することにも取り組んだ。以下に、開発したテーマの内容と実践について報告する。

2. 気象学分野での実践

(佐藤尚毅)

気象学分野では、グループワークを通して実践的な天気予報に取り組む演習テーマを開発し実践した。

2. 1 テーマ設定の意図

2. 1. 1 背景

小学校理科では気象に関する内容は第3, 4, 5学年で取り上げられる⁴⁾が、その中でも第5学年で扱われる「西から東へ移り変わる天気」は、温帯低気圧や移動性高気圧が交互に通過することによる天気の変化を指しており、夏を除く時期の天気を理解するうえで最も基本的で重要な考え方である。また、第5学年では西から東へ移り変わる天気の例外として、台風についても学習する。これらの題材は、中学校⁵⁾や高等学校⁶⁾の理科においても継続して取り上げられており、中学校理科第2分野では地上天気図、高等学校地学においては高層天気図も用いられる。高層天気図や数値予報資料の活用を含めて、小学校理科から中学校理科、高等学校地学へのつながりを意識した指導も望まれる。

気象は日常生活にも密接に関連しているので、児童・生徒の関心を引き出すことは比較的容易である。一方で、実際の天気を観察したり最新の観測データを用いたりして授業を行う場合、必ずしも教科書に載っている典型事例と同じ経過をたどるとは限らない。このため、実際に目の前にある気象場に応じて、見通しを立てながら、つまり天気の変化を予想しながら、授業を展開することが求められる。教師は天気図を用いて天気の経過を把握、予想しておく必要があり、この点で、教師にとっては難しい単元であるといえる。また、天気は西から東へ移り変わるというような要点だけを殊更に単純化し強調した指導は、例外的な状況を想定する能力を低下させ、防災上も問題がある。

急速に発達する温帯低気圧は「爆弾低気圧」ともよばれるが、文部科学省による通達「降積雪期における防災態勢の強化等について」(2017年11月28日)、「融雪出水期における防災態勢の強化について」(2018年3月20日)にも関連し、学校現場における防災対

策, 安全対策としても重要なテーマである。2017年3月には冬山登山中の高校生が雪崩に巻き込まれて死亡する事故が発生したが, 登山のような野外活動における安全確保のためには, 地上天気図だけでなく高層天気図や数値予報資料を活用することは必須である。

学校教育以外の場面においても, たとえば, 博物館や大学の公開講座で開催される夏休み中の「天気図教室」のようなイベントには一定の人気がある。しかし, 博物館における展示という観点では, 地学関係は全般に人気が高いものの, 化石など古生物学関係やプラネタリウムなどの天文学関係のものが多く, 気象学に関連するものは少ないのが現状である。ラジオの気象通報による天気図の作成や天気図の高度な活用法を実践的に学ぶことは, 学芸員志望者にとっても有意義であると考えられる。

2. 1. 2 新学習指導要領との関わり

小学校理科第5学年で扱われる「天気の変化」は, 温帯低気圧や移動性高気圧が交互に西から東へ通過することによる天気の変化を対象としている¹⁾。中学校の理科においては, 天気図を用いて低気圧や高気圧について具体的に学ぶことになるが, 小学校においても中学校での学習内容を見据えて授業を展開することが望まれる。

新学習指導要領では, たとえば小学校理科第5学年の「天気の変化」において, 「天気の変化の仕方と雲の量や動きとの関係についての予想や仮説を基に, 解決の方法を発想し, 表現すること。」とされていたり, 中学校理科第2分野の「気象とその変化」において, 「見通しをもって解決する方法を立案して観察, 実験などを行い, その結果を分析して解釈し, 天気の変化や日本の気象についての規則性や関係性を見いだして表現すること。」とされていたりする²⁾ように, 思考力や判断力, 表現力の育成が重視されている。実験や観察という手段を通して知識を獲得することではなく, 知識を活用することが重視されているといえる。翌日の天気を予想するという課題は, 答えが未知であるという点において, 自ら予想や仮説をたてて解決の方法を考えるという活動に適した題材である。また, 自分の予想を発表し議論することで, 新学習指導要領が求める表現力の育成にもつながると期待される。

2. 1. 3 授業の目標

実際に天気予報を行なうことを通して, 楽しみながら科学的思考力を養うとともに, 防災や野外活動にも役立つ知識を身に付けることを目標とする。また, 天

気予報という実践的な課題を通して, 理科のコンピテンシー(実践的な課題解決能力)向上を図る。本授業は, 大学院教育学研究科(修士課程)の教育実践開発科目群の「地学教育実践論演習」として試行する。この授業科目は地学教育に関する専門性を含む一方で, 理科教育専攻以外の学生も履修可能であることが特徴であり, 幅広い層の履修者が想定される。今回開発している授業においては, 気象予報士志望者(すでに合格している者を含む)向けには予報技術の向上, 学芸員志望者向けには, 気象関係の展示, イベントの企画のための実践的知識の習得, 学校教員志望者向けには学校現場において気象予報士と協働できる教員の育成を目指すものとする。

2. 2 実践の概要

2. 2. 1 授業計画

本授業は全7回で構成される。授業スケジュールは表1の通りである。「典型事例の予想」では, 台風, 南岸低気圧, 日本海低気圧の典型的な事例について, あらかじめデータを用意し, 天気図の作成や天気の予想に取り組む。「最新事例の予想」では, 授業当日の最新の気象データを用いて翌日の天気の予想を行なう。それぞれの週において, 「地上実況の解析」, 「高層実況の解析」, 「国際式天気記号」のように重点的に学ぶ項目を指定し, より高度な内容を少しずつ習得していく形になっている。

気象通報による地上天気図の作成は毎週必ず実施する項目であり, この授業における成績評価の前提として, すべての学生が最低限習得しなければならない技能である。本授業は6限(18:00~19:30)に実施するため, 当日16時の気象通報を録音して利用する。

高層天気図については, インターネットで入手した最新のデータ(各地の観測データ)が記入された用紙に, 各自で等高度線, 等温線を書き入れる。雲画像, 数値予報資料なども, インターネットを通して気象庁のウェブサイトから入手して利用する。

2. 2. 2 事前学習

学生には, 事前学習のためのテキスト(45ページ程度)を配布している。主に中学校から高等学校で学ぶ気象に関する内容を解説するものであるが, 一部, 発展的な内容も含んでいる。これとは別に, 天気図の指導に関する参考資料として, 公開講座の資料(27ページ程度)も配っている。さらに, 国際式天気記号, TEMP報の解説, SYNOP報の解説に関する資料も配布している。具体的なワークシート, レポート課

表1 授業計画

内容	回	学習活動	指導上の留意点
オリエンテーション	1	地上天気図・高層天気図の読み方と書き方 ・気象通報 ・高層天気図	事務連絡(授業内容, 持ち物, 事前学習, 評価方法など)。 学生の自己紹介と班分け。 雲画像(前日と当日), 地上天気図(前日), 高層天気図(当日)を配布して, 当日の天気について簡単に解説する。 ●気象通報によって当日の地上天気図を作成する。 ○プロット図を用いて高層天気図(700hPa高度, 気温)を作成する。
典型事例の予想	2	典型事例の予想(1) 台風 【地上実況の解析】	雲画像・解析雨量(前日と対象日), 地上天気図(前日)を配布。 ●気象通報によって対象日の地上天気図を作成する。 ◎対象時刻から6時間おき24時間後までの地上天気図(プロット図)を用いて, 台風の中心位置を推定する。 ・グループで結果をまとめ, 発表する。
	3	典型事例の予想(2) 日本海低気圧 【高層実況の解析】	雲画像・解析雨量(前日と対象日), 地上天気図・高層天気図(前日)を配布。 ●気象通報によって対象日の地上天気図を作成する。 ◎プロット図を用いて高層天気図(850hPa気温, 500hPa高度)を作成する。 ○数値予報資料(FXFE502, FXFE5782)を用いて翌日の予想天気図を作成し, 天気(札幌, 東京, 新潟, 福岡)を予想する。 ・グループで結果をまとめ, 発表する。
	4	典型事例の予想(3) 南岸低気圧 【TEMP報の解説】	雲画像・解析雨量(前日と対象日), 地上天気図・高層天気図(前日)を配布。 ●気象通報によって対象日の地上天気図を作成する。 ◎TEMP報を解説し, 未記入の高層気象観測データをプロット図に書き入れる。 ○プロット図を用いて高層天気図(850hPa気温, 500hPa高度)を作成する。 ○数値予報資料(FXFE502, FXFE5782)を用いて翌日の予想天気図を作成し, 天気(札幌, 東京, 新潟, 福岡)を予想する。 ・グループで結果をまとめ, 発表する。 ○対象時刻から6時間おき24時間後までの地上天気図(プロット図)を用いて, 低気圧と前線の位置を推定し, 予想を検証する。 ・グループで結果をまとめ, 発表する。 ※中間評価を実施する。
最新事例の予想	5	最新事例の予想(1) 【国際式天気記号】	雲画像・解析雨量(前日と当日), 地上天気図・高層天気図(前日)を配布。 ●気象通報によって当日の地上天気図を作成する。 ○プロット図を用いて高層天気図(850hPa気温, 500hPa気温, 高度)を作成する。 ◎プロット図を用いて局地的な地上天気図を作成する。 ○数値予報資料(FXFE502, FXFE5782)を用いて翌日の予想天気図を作成し, 天気(札幌, 東京, 新潟, 福岡)を予想する。 ・グループで結果をまとめ, 発表する。
	6	最新事例の予想(2) 【SYNOB報の解説】	雲画像・解析雨量(前日と当日), 地上天気図・高層天気図(前日)を配布。 ●気象通報によって当日の地上天気図を作成する(等圧線を除く)。 ◎SYNOB報を解説し, 追加の地上気象観測データを地上天気図に書き入れ, 等圧線を引く。 ○プロット図を用いて高層天気図(850hPa気温, 500hPa気温, 高度)を作成する。 ○数値予報資料(FXFE502, FXFE5782)を用いて翌日の予想天気図を作成し, 天気(札幌, 東京, 新潟, 福岡)を予想する。 ・グループで結果をまとめ, 発表する。
	7 (本時)	最新事例の予想(3)	雲画像・解析雨量(前日と当日), 地上天気図・高層天気図(前日)を配布。 ●気象通報によって当日の地上天気図を作成する(SYNOB報の解説を含む)。 ○プロット図を用いて高層天気図(850hPa気温, 500hPa気温, 高度)を作成する。 ○数値予報資料(FXFE502, FXFE5782, FXFE504, FXFE5784)を用いて翌日の予想天気図を作成し, 天気(札幌, 東京, 新潟, 福岡)を予想する。 ・グループで結果をまとめ, 発表する。 ※最終評価を実施する。

●毎回行う基本練習, ◎その回の重要項目, ○その他の項目。

題などは出題しない。天気予報という課題を反復しながら, 知識が不足していると感じた部分を各自が自発

的に学習することを期待している。授業時間内では, 必要な知識の説明は概要程度にとどめ, あとは資料の

表2 ルーブリックの例 (最終評価, 相互評価用)

地学教育実践論演習 (気象学分野)
評価シート (最終評価) (相互評価用)

被評価者 (評価される人) : _____

評価者 (評価する人) : _____

合計点 : _____点

観点	評価規準	S (20点)	A (15点)	B (10点)	C (5点)
基礎知識	解析や予想に必要な気象学の知識を習得している。	模範となるような卓越した知識を持っている。	十分な知識を持っている。	知識にやや不足がある。	知識にかなりの不足がある。
基本技能	解析や予想に必要な天気図の読み方やかき方を習得している。	模範となるような卓越した技能を持っている。	十分な技能を持っている。	技能にやや不足がある。	技能にかなりの不足がある。
応用力	基礎知識や基本技能を解析や予想に役立て、適切に論理を展開できる。	知識、技能を大いに活用し、解析や予想において卓越した成果を上げている。	知識、技能を適切に活用し、解析や予想において十分な成果を上げている。	知識、技能の活用にやや不足がある。	知識、技能の活用にかなり不足がある。
意思疎通能力	グループでの討論において、積極的に意見を述べ、適切な結論の導出に貢献できる。	自分の意見を積極的に述べ、結論の導出においても模範的な役割を果たしている。	自分の意見を適切に述べ、結論の導出においても十分な役割を果たしている。	討論での役割にやや不足がある。	討論での役割にかなり不足がある。
発表能力	グループでまとめた解析や予想を分かりやすく発表することができる。	非常にわかりやすく模範的な発表ができる。	わかりやすく発表することができる。	発表での役割にやや不足がある。	発表での役割にかなり不足がある。

どこに載っているかを示して、授業時間外での自発的な学習を促すように努めている。配布資料の中には難解な箇所もあるが、グループ内での教え合いにも期待している。天気予報のために必要な基礎知識はテキストを用いて各自が授業時間外に習得していることが前提であり、反転学習の考え方を取り入れた授業進行になっている。

2. 2. 3 評価規準

天気図を活用し天気を実際に予想するためには、さまざまな知識や技能を応用する力が求められるが、その前提として、低気圧や高気圧、台風、上空の偏西風などについての基礎知識や、天気図の作成・利用のための基本技能が必要である。また、グループでの活動を円滑に進めるためには、意思疎通能力や発表能力も備えていなければならない。本授業での評価は、これらの観点すべてを含めて行なうものとする。

具体的な評価の観点は、ルーブリックによって示す。本授業では、基礎知識、基本技能、応用力、意思疎通能力、発表能力の5つを評価の観点とする。

【基礎知識】

- ・解析や予想に必要な気象学の知識を習得している。

【基本技能】

- ・解析や予想に必要な天気図の読み方やかき方を習得

している。

【応用力】

- ・基礎知識や基本技能を解析や予想に役立てて、適切に論理を展開できる。

【意思疎通能力】

- ・グループでの討論において、積極的に意見を述べ、適切な結論の導出に貢献できる。

【発表能力】

- ・グループでまとめた解析や予想を分かりやすく発表することができる。

表2に示したようなルーブリックを配布し、被評価者の到達度について該当すると考えられるレベルを評価者が選択することによって評価を実施する。教員による評価 (50%) の他、自己評価 (25%)、相互評価 (25%) を含む。中間評価を第4週終了時、最終評価を第7週終了時に実施する。中間評価の結果は各自に通知するが、被評価者がその時点での到達度を知ることが目的であり、本授業の成績評価は最終評価のみで決定する。

2. 3 本時の内容

2. 3. 1 本時のねらい

地学分野全7週のうち、第2～4週では、典型的な事例を取り上げて、天気予報の技術を学習した。第

表3 本時の展開

時間	学習活動	指導上の留意点
導入 5分	資料の配布	以下の資料を配布する。 ・雲画像 (赤外画像), 解析雨量 (前日・当日12時) ・地上天気図 (前日12時), 高層天気図 (前日9時) ・天気図用紙 ・高層プロット図 ・SYNOB報 必要に応じて, 以下の資料を用いて, プロジェクタで説明する。 ・雲画像, 解析雨量 ・地上天気図, 高層天気図
視聴 20分	気象通報の視聴	①各地の天気 ②船舶の報告 ③漁業気象 ・各地の天気は直接記入する。 ・台風, 低気圧の暴風域, 強風域は記入しなくてよい (防災上は意味があるが煩雑になるのを防ぐため)。 ・台風, 低気圧の予報円は記入する。 ・海上警報 (風, 濃霧) は記入しない。 ・「海上保安庁からのお知らせ」は記入しない。
地上解読 10分	SYNOB報の解読	・追加観測点のデータを解読する (グループ内で分担)。 ・データを各自の天気図に記入する。
地上作図 10分	地上天気図の完成	・等圧線 (4hPaおき) を引く。
高層作図 15分	高層天気図の完成	高層天気図 (850hPa気温, 500hPa気温, 高度) を作成する。 ・各地の観測値はあらかじめ印刷されている。 ・等高度線 (60mおき) と等温線 (6℃おき) を記入する。
予想作図 10分	予想天気図の作成	数値予報資料 (FXFE502, FXFE5782, FXFE504, FXFE5784) と記入用紙を配布する。 ・翌日12時の予想天気図を作成する。
予想 10分	明日の天気予想	翌日の天気 (札幌, 東京, 新潟, 福岡) を予想する。
発表 10分	天気予報	班ごとに翌日の天気予想を発表させる。 ・予想が結果的に当たるかどうかだけでなく, どのように考え, 説明したかが重要である。

5, 6週では, 第2～4週で学んだことを活用して, 実際に最新の天気図を作成し, 翌日の天気を予想するという課題に取り組んだ。本時 (第7週) では, これまでに学んできたことを実践しながら, 実践的能力 (コンピテンシー) の完成を目指す。

2. 3. 2 準備する教材

- ・講義資料
- ・筆記用具 (ボールペン, 鉛筆, 消しゴム, 赤, 青, 紫の色鉛筆)

(以上は学生が各自で持参する)

- ・雲画像 (赤外画像), 解析雨量 (前日・当日12時)
- ・地上天気図 (前日12時)
地上天気図用紙に, 気象庁天気図と, 各地の地上気象観測データをサーバ上で自動で合成して印刷したもの
- ・高層天気図 (前日9時)
- ・地上天気図用紙

- ・高層プロット図 (当日9時)
高層気象観測データを地図にプロットし, サーバ上で最適内挿法によって計算した等温線, 等高度線を参考として薄い色で印刷したもの
- ・SYNOB報 (当日12時)
インターネットで入手した電文から自動で必要箇所を抜き出して印刷したもの
- ・数値予報資料 (FXFE502, FXFE5782, FXFE504, FXFE5784) (当日9時初期値)
- ・予想天気図を記入するための天気図用紙
天気図用紙に, FXFE502に示されている24時間後の海面気圧予想値を薄い色で合成して印刷したもの (以上は各週の授業で配布する)
- ・プロジェクタ, 書画カメラ, ノートPC, ラジカセ (以上は教室に1台)

2. 3. 3 授業展開

実践した授業の展開は, 表3の通りである。

3. 電磁気学分野での実験授業

(松本益明)

電磁気学分野では、電磁誘導に関する実験テーマを開発し実践した。

3. 1 テーマ設定の意図

3. 1. 1 背景

オシロスコープは、直接目に見えない電気、特に時間的に変化する交流電気信号の様子を可視化して見ることのできる非常に有用な実験器具であるが、従来使用されてきたアナログオシロは非常に高価であったため、高等学校でも用意されていなかったり、あったとしても更新されずに老朽化が進んで動作が不安定であったり、また、高等学校の先生が使用方法が分からないといった理由のために活用されない状態にある学校も少なからずある。しかし、ここ10年ほどの間の電子機器の進歩は急速であり、その技術を活用したデジタルオシロが普及してきたため状況は改善されつつある。デジタルオシロは見た目はアナログオシロと似た形に作られているが、電気信号をアナログ/デジタル(A/D)変換してメモリーにため込んだ後のデータの取り扱い方を考えると、中身はほとんどモニターを備えた交流電気信号観察専用のコンピューターと言ってよい。

最近のパーソナルコンピューター(パソコン)などの高速化・低価格化に伴い、比較的安価に高速のメモリーやA/D変換器が普及してきたためデジタルオシロがかなり安価(3万円以下)で手に入るようになってきた。さらにUSBなどの端子に取り付けると、パソコンやタブレット端末をオシロスコープに利用することのできる機器も数多く販売されるようになってきており、特に音声に限ると、内蔵マイクで音声をデジタル化して波形を表示することのできるアプリケーションソフトウェアも無料で手に入るような状況である。日常生活の中で交流信号を利用する機会は益々増大しているため、そのような信号を理解するためにオシロスコープのような機械を用いて可視化することは非常に有用な手法となってきている。アナログオシロスコープでは繰り返し生じる現象を観察することはできたが、1回だけ瞬間的に生じる現象を観察することが非常に困難であった。それに対し、デジタルオシロでは、ある時間に生じる現象を一旦全てメモリーに記録してしまうため、一瞬の現象であっても、その現象による電圧の変化をトリガーとして利用することで捉えて観察できるというメリットがあり、今回取り上げる

単発の電磁誘導の実験を観察するのに適している。

3. 1. 2 学習指導要領との関わり

電磁誘導という言葉は中学校および高等学校の学習指導要領に出てくる^{5,6)}。しかしながら、小学校の学習指導要領においては、近年電気が盛んに取り上げられている⁴⁾。特に第6学年の「電気の利用」において、発電や電気の変換を取り上げる際に手回し発電機などを使って電気をつくりだしたり、モーターに電気を流して力に変換したりする際に電磁誘導の仕組みを利用しており、発電機とモーターの原理が電磁誘導の法則に基づいていることを学んでおくことは、小学校の教員になる場合にも有益である。中学校の学習指導要領には「〔第一分野〕(3)電流とその利用」の中に第2学年で学習する内容として「電流と磁界」「電磁誘導と発電(交流を含む)」が取り上げられており、「磁石とコイルを用いた実験を行い、コイルや磁石を動かすことにより電流が得られることを見出して理解する」とある。さらに、高等学校の学習指導要領では「物理基礎」の中では交流発電機を用いて電気をつくっていることを学び、「物理(3)イ 電流と磁界」の中で電磁誘導を利用した交流発電について学習する形となっている。

従って、本論文で取り上げるような実験を生徒にさせたり、先生自ら演示実験を行うことが求められており、デジタルオシロスコープの取り扱い方を理解し、電磁誘導の様子を観察できるような能力を身に付けておくことは、今後益々理科の教員に求められるようになると思われる。

3. 1. 3 テーマの目標

開発した電磁誘導の実験においては、最近急速に低価格化が進み、入手が容易になってきたデジタルオシロスコープ(デジタルオシロ)を用いて、コイルに磁石を近づけたり遠ざけたりした時に生じる誘導起電力の観察を学生が主体的に行うことによって、ファラデーの電磁誘導の法則等の物理学の法則についての理解を深めるとともに、デジタルオシロの使用方法について学修することを目標とする。

3. 2 授業計画

本実験のテキストを付録Aに示す。実験の対象者は物理を学ぶ高校生や理系の大学の教養課程の学生、本学の初等教育教員養成課程(A類)理科選修および中等教育教員養成課程(B類)理科専攻の学生である。電磁誘導の実験は、以前に啓林館の高等学校物理Ⅱ

の教科書で取り上げられていた電磁誘導の実験をベースにしている⁷⁾が、内容は現在の高等学校物理の範囲を逸脱していない。また、実験装置は物理オリンピック日本委員会 (JPhO) が行っている物理チャレンジで2016年の第2チャレンジ試験用に開発されたものを使用した⁸⁾。オシロスコープを除く実験器具についてはJPhOで購入することができる。ここでは本学のA類理科選修・B類理科専攻の学生に対して行った物理学実験について述べる。

3. 2. 1 事前授業

本実験課題を始めるに当たっては、まずデジタルオシロスコープの仕組みや取り扱い方について学習する必要がある。本学の物理学実験では、基礎実験として3時限をかけてこれを行っている。そこでは音さや人の声などの音声をマイクで電気信号に変換して増幅し、デジタルオシロスコープで観察することを通して、表示されるグラフの縦軸と横軸の意味や調節の仕方、波形を捉えるために重要なトリガーの設定方法、さらには観察された波形の周波数や時間間隔、振幅電圧の測定方法などを、学生が主体的に学習できるような課題となっており、時間を十分にかけ学習する形にしている。上述のように近年デジタルオシロの入手が容易になりつつあると言っても、まだ高等学校への導入は進んでいないため、ほぼ全ての学生にとってオシロスコープを触るのは初めての経験であり、装備されている多数のボタンやつまみに自由に触れる機会を持つことは非常に良い経験である。デジタルオシロは案外頑丈であるため、落下させたり、高電圧を加えたりすることがなければ簡単には壊れない。壊すことを恐れて恐る恐る触っている学生も、正しく使えば容易には壊れないことを実感すると、次第にいろいろな測定に挑戦するようになる。このような経験により身についた自信は将来教師となって生徒を指導する上できっと役に立つはずである。

3. 2. 2 予習課題

課題の最初に予習課題が示されている。内容は、ローレンツ力、ファラデーの電磁誘導の法則、レンツの法則、オームの法則・ジュールの法則に関する事前学習となっている。本学の現行のカリキュラムでは大学で電磁気学を学ぶ前に物理学実験を行う学生がいるため、高等学校の「物理」を履修していない場合、上記の用語や意味について全く知らない状態で実験を行うことになってしまい、実験への理解が深まらない。そこで、教科書や参考書を用いた予習によって知識を

補っている。履修済みの学生にとっても、実験前の予習により、記憶を新たにすることでより効果的な実験に繋げることができる。

3. 2. 3 実験テーマの内容

実験は4つに分れており、実験1から3までが必修課題、実験4が発展課題となっており、これを3時限で行う。実験自体は実験テキストに従って行うことで時間内に行える内容となっていると考えているが、実験1でコイルに磁石を近づけたり遠ざけたりする際にコイルの両端に発生する誘導起電力を測定できるようになるまではティーチングアシスタント (TA) 等が学生の能力に応じて適切な援助を行うことが望ましい。

実験1で最も重要な考察課題は、「1-3 観察された結果から、シールを貼った面の極を判定し、どのように判定したか説明せよ。」である。解答はN極かS極かの2通りしかないため、理由が分からなくても正解することは可能であるが、理由を正しく説明するためにはレンツの法則と電圧および電流の向きをきちんと理解している必要がある。まず、磁石の極を仮定し、コイルに磁石を近づけたときに生じる誘導起電力の正負もしくは誘導電流の向きをレンツの法則から決定する。次にその結果から図1を用いてオシロスコープに観察される波形の電圧の正負を考える。図1に示されているように、誘導起電力つまり電圧の正負は電池、抵抗、電圧計全てにおいて同じ側が正 (+) になっているが、電流の向きは電池では+側から流れ出る向きであるのに対して、抵抗および電圧計では+側に流れ込む向きとなっている。電磁誘導において多くの学生は誘導電流を用いて考えるため混乱を招きやすい。電磁誘導のコイルやデジタルオシロが図1のどの素子の役割を果たしているのかが分からないと電圧の正負を決定する際に間違えることになる。このような2段階の考察ができるかどうかを実験1の重要な項目となっている。

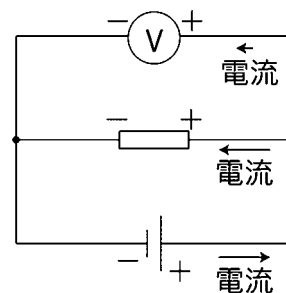


図1 電池と抵抗からなる回路を電圧計で測定するときの電圧の正 (+) 負 (-) と電流の向きの関係

実験2においては、磁石がコイルを通過する際に観察される波形を考察した後に、実験を行い観察する。この波形は実験1の考察の結果と矛盾がなければ正解とした。コイルの巻かれた向きと磁極の移動の向きを明確にしてレンツの法則を用いることが必要である。実験2-3, 2-4は磁石の落下距離と落下速度の関係を測定する課題である。この課題は、電磁誘導とは直接関係していない。力学的エネルギー（位置エネルギーと運動エネルギーの和）が保存されることを利用して、落下後の速度が落下距離の平方根に比例することを見出すために両対数グラフが有効であることを発見させる課題となっている。コイルの存在が落下速度に影響を与えることも予想されるが、実際にはほとんど影響を与えないことが実験結果から分かる。このことは実験3からさらに考察する。

実験3では、実験2と同様に落下速度を測定するが、コイルの代わりに厚さの厚い銅ワッシャーを用いている。さらに銅ワッシャーに切れ目を入れたものを入れていないものについて測定することで、電流が一周しない場合と一周する場合の違いについて考察する。これにより、電流が流れる場合には落下速度が低下することに気付かせ、位置エネルギーが運動エネルギーだけでなく、電気エネルギー（電力）にも変換されること、オームの法則とジュールの法則を用いることで抵抗が小さいほど消費する電力が大きいことを学ぶ課題となっている。

実験4は必修課題ではなく発展課題とした。磁石に付かないアルミや銅でできたパイプの中に磁石を通して落下させるものであり、渦電流の例としてよく知られたものである。渦電流は実験1～3と同様に電磁誘導により生じている。コイルのように線に沿って電流が流れるものとは異なり、複雑な経路をたどるため理論的に予想することは困難であるが、実験3のワッシャーの数を増やしていった結果からおおよそ予想することが可能である。

3. 3 授業の実践

本実験テーマを本学の1年生秋学期の物理学実験において実践した。約70名の学生が実験を行い、その中の19名にレポートを課して評価した。実験については、予想通り最初の誘導起電力の測定ができるまでかなりの時間を要した。実験1の波形の観察ができると、残りの実験は比較的スムーズに進み、ほとんどの学生が時間内に実験を終わらせることができていた。実験1の考察課題については、レポートできちんと説明ができていたのは約1/4の学生であった。間違っ

た学生の多くは、コイルが図1の抵抗の役割をしていると考えており、電流が流れ出す側の電圧が低くなると考えていた。実際にはコイルは起電力（電圧）を発生する電池と同じ役割をしているため、電流の流れ出す側の電圧が高い。ほとんどの学生は電池において電流が流れ出す側の電圧が高いことは理解していると考えられるが、コイルのような形の場合にはそれを抵抗と考えてしまう学生が多いことが分かる。レンツの法則を利用した誘導電流の向きも間違った結果として極の正負を正しく予想した学生が半分近くいた。実験2のコイル通過時の電圧については多くの学生が実験1と矛盾のない予想を行うことができていた。落下距離と落下速度の関係については、単純なエネルギー保存則から外れた結果が得られた場合が多かった。これは落下に使用しているパイプが細いため、少しでもパイプが斜めになっていると、磁石が落下中にパイプ壁に衝突して摩擦により減速してしまうためであった。慎重にパイプを垂直に立てて実験を行うと、理論的な結果に近い値が得られたため、空気抵抗の影響は壁との衝突による影響に比べて大きくないが、この課題についてはさらに改良を重ねる必要があると思われる。実験3では、スリットの入ったワッシャーでは速度が減らないのに対し、スリットの入っていないワッシャーでは速度が減る結果をほとんどの学生が得ていたが、説明を正しく行えた学生は1名のみであった。

実験4は発展課題であったが、定量的な取り扱いを求めなかったため、多くの学生が実験をしていた。磁石に付かないアルミや銅のパイプ中に磁石を落下させたときに非常にゆっくりと落ちてくる様子やパイプ表面で磁石を速く動かすと抵抗力を感じるといった現象は新鮮な驚きをもたらすため、電磁誘導への関心を引く点でも非常に有用な実験である。

3. 4 電磁誘導実験に関するまとめ

学生の主体的な実験を通して電磁気学の主要な学習項目の一つである電磁誘導について学ぶことを目指して本実験テーマを開発した。デジタルオシロスコープの自由な学習と併せて行うことで、若干の補助は必要であるが、学生が流れに沿って実験から考察までを行うことにはある程度成功した。より主体性を持たせるためには実験結果の考察の際にグループ全体での討論を行うような形に持っていくことも効果的であると考えている。テーマとしては、現在のところ誘導起電力の測定と渦電流の考察に限っているが、今後さらに発電の仕組みの理解へ繋げ、小学生が見ても理解できるような課題へと発展させていくことを目指していきたい。

4. 電気回路分野での実験授業

(植松晴子)

電気回路分野では、グループでの議論を通じて直流回路の基本的概念の理解を図る実験テーマを開発し実践した。

4. 1 テーマ設定の意図

4. 1. 1 背景

電気回路に関する事項は、日常生活との関連が大きく小学校3年生から中学校、高等学校物理基礎までの間で多く取り扱われる内容である^{4,5,6)}。電気エネルギーが中心となっている現代の生活を考えても、電気回路の基本的事項や電気エネルギーの消費については、万人に素養が求められる。一方で、電気回路で見られる現象を理解する上では抽象的な概念も必要で、学習を難しくする要因である。

たとえば、小学校の学習内容は電流を中心としており、電圧の概念は扱わない。しかし、生活に結びついた設定として電源に並列に接続した電熱線の太さによる消費電力の違いを考えさせるなど、教員には電圧の概念理解が求められる内容も含まれる。

中学校では電圧が導入され、電気抵抗の直列・並列接続や抵抗にかかる電圧と電流の関係(オームの法則)を学ぶ。高等学校の物理基礎⁶⁾もほぼ中学校と同様の内容である。ところが、この内容を学習し、さらに高等学校で物理を選択して電磁気学を学んだはずの大学生でも、理解が十分でない場合がある。電磁気学における電位差と電気回路における電圧が結びついていなかったり、回路の合成抵抗は計算できても定性的な説明をしようとすると誤概念が現れたり、基本的な概念理解に課題が見える。電気回路では、電球等の素子を通ると電流が減るという「電流消費」の誤概念⁹⁾、電池は接続する回路によらず一定の電流を流すという「電池定電流源」の誤概念⁹⁾等、よく知られているものに加えて、「回路」という概念そのものの理解にも不安がある。たとえば、電流を回路中に一続きで流れるものとは捉えておらず、途中で断線している場合に電源から断線箇所までは流れがあると考えるのである。学生の多くは水流モデルを基に電気回路を理解しようとしているが、モデルは現実ではないことや限界があることに気づいていないことも多い。また、実験結果を基にメカニズムを考える姿勢に乏しく、予測と矛盾する実験結果が得られても、誤概念を修正しないことも指摘されている。その背景には、高等学校では実験の経験が限定的で、行った数少ない実験もほと

んど望ましい結果が予め分かっている検証実験であることが影響していると考えられる¹⁰⁾。

一方、電気回路は生活との関連に加えて、教材として望ましい点もある。電気回路は電磁気学と切り離して、現象論的に理解することも可能である。その場合も、目には見えないメカニズムを推論する必要があり、実験を行いながら、この分野に閉じたメンタルモデルを構築する格好の題材ともいえる。

4. 1. 2 学習指導要領との関わり

現行の小学校学習指導要領⁴⁾では、小学校3年生で「電気の通り道」、小学校4年生で「電気の働き」、小学校5年生で「電流の働き」、小学校6年生で「電気の利用」と各学年で電気を扱い、生活との関連が重視されているため、そのすべてが電気回路に関わるものである。中学校学習指導要領⁵⁾には、静電気や電流と磁場との相互作用に関する内容が含まれるが、引き続き「回路と電流・電圧」「電流・電圧と抵抗」「電気とエネルギー」で、電気回路の内容が多く含まれている。高等学校学習指導要領⁶⁾では、中学校より発展的な内容は「物理」に含まれ、多くの生徒が履修する「物理基礎」の内容は中学校と同様である。

新学習指導要領¹⁻³⁾では、内容はほとんど変わらず、「探究」の重みが増している。知識・技能の伝達からそれをどう活用するかにより重点が置かれており、日常生活との関連が大きい電気回路分野で、問題設定能力・問題解決能力の育成に資する実験テーマの開発が望まれる。

4. 1. 3 授業のねらい

内容の理解に関しては、電流を中心とした電気回路のメンタルモデルを構築すること、オームの法則の前段階として、電気抵抗にかかる電圧と流れる電流の相関を見出すことを目指す。その過程で、「電流消費」「電池定電流源」などの誤概念も解消する。

学習姿勢に関しては、現象の背後にあるメカニズムを理解するために予想・実験・考察の過程を論理的に進めること、抽象的概念の理解のためにメンタルモデルを構築し実験結果を見ながらそのモデルを修正していくことを目指している。他の抽象的概念の理解のためにも身に着けることが望まれる方策である。電気回路の水流モデルは中学校・高等学校の多くの教科書に取り上げられ¹¹⁾、このモデルで理解している学生も多い。しかし、水流モデルが必ずしもすべての学生にとって理解しやすいものとは限らず、水流モデルを用いることによる誤概念もある。また、モデルには限界

があること、真のメカニズムを表してはいないことを学生が認識していない問題がある。説明できない現象に出会ったときにモデルを修正して理解を深めていく過程を知らない。この過程は、より抽象的な概念の理解には欠かせないものであり、メンタルモデルを構築する経験を将来につなげられる教材としての展望を長期的には視野に入れている。

アクティブ・ラーニングの一つの手法として、グループワークを行って、他者の意見を聞いたり自分の考えを述べたりする中で、論点を整理し議論を通じて理解を深めていく意義も実感してほしいところである。

4. 2 実践の概要

電気回路分野の課題は、本学初等教育教員養成課程理科選修および中等教育教員養成課程理科専攻の必修授業である「物理学実験」において、2016年度秋学期、2017年度春学期、2017年度秋学期に2クラスずつ実践した。対象は1年生で、各クラス40名弱である。

本学の「物理学演習」の授業では、チュートリアル方式を継続的に実施して、力学分野を中心とする基本的概念の獲得や学習姿勢の改善に一定の成果を得ており¹²⁾、その手法を活用した。教材は、米国メリーランド大学で開発されたもの¹³⁾を元に、概念理解を促す

問いや実験課題を配置してワークシートを作成した。学生は、3～4名のグループで議論しながらワークシートを進めていく。教員とTAが随時議論のファシリテーションを行い、要所となる箇所はチェックした。ワークシートの内容は、回路の概念を構築する「電気回路I」と、電流と電圧の相関を確かめる「電気回路II」の2部構成である。それぞれの内容を表4に示した。

授業の冒頭に、電気回路を理解するモデルをいくつか紹介し、目に見えない現象を理解するために、自分なりのモデルを見つけることを呼びかけた。「電気回路I」と「電気回路II」のそれぞれの最後には、それまでの活動を振り返る時間を設けた。個人の振り返りをグループで共有し、さらに各グループでまとめた意見をホワイトボードに書いてクラスで共有した。授業後に、「電気回路I」の宿題として、豆電球を直列接続した回路において、提示したさまざまなモデルが各電球の明るさを推論するのに適するかどうかを議論すること、「電気回路II」の宿題として、豆電球の接続方法の異なる複数の回路で、授業中に観察した実験結果に基づき定性的に合成抵抗の大きさを説明することを課した。

表4 電気回路の実験の内容

電気回路I		電気回路II	
内容	目的	内容	目的
<ul style="list-style-type: none"> ・ホルダーを用いずに、豆電球、乾電池、針金1本を用いて豆電球を点灯する接続を考える。 ・(ホルダー、リード線を使用して)乾電池と豆電球を接続した回路の途中に、さまざまな物質のものをはさんで、豆電球の点灯の可否を確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・電気的接続の意味、各素子の電極の役割、短絡の意味等を理解する。 ・導体・絶縁体の意味、開回路・閉回路によらずキャリアは回路上にあること、流れの有無は回路全体で同時におこっていることを理解する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・豆電球1個の回路と豆電球2個を並列接続した回路で、豆電球の明るさの違いを予測し、実験で確認する。 ・直列・並列接続された豆電球3個のやや複雑な回路から電球を1個除去した場合の電球の明るさを予測する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・同じ電池でも接続する不可によって流れる電流が増加することを理解(誤概念の解消)する。 ・電圧を導入する必要性を認識する。
<p>以降、回路には流れがあることとその大きさを電球の明るさで判断することを共有。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・豆電球1個の回路と豆電球2個を直列接続した回路で、豆電球の明るさの違いを予測し、実験で確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・電流の定量的な測定は行わず、直観的な理解を目指す。 ・電流は回路中で保存すること、同じ電池でも接続する不可によって流れる電流が現象することを理解する。(誤概念の解消) 	<ul style="list-style-type: none"> ・豆電球1個の回路と豆電球2個を直列接続した回路、並列接続した回路のそれぞれについて、電池とそれぞれの電球にかかる電圧と流れる電流を測り、比較する。電流は万電球の明るさから推測し、電圧は計器を用いて測定する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・電気回路についてのメンタルモデルを構築する。各回路素子にかかる電圧と流れる電流の相関を見出して、定性的なオームの法則の理解へとつなげる。

表5 「電気回路I」において学生が大事だとしたことの記述例

分類	学生の記述
閉回路	回路を作る→一つの輪を完成させること。 回路はひとつづきになっているとき初めて電流を流す。 回路を作るには導体で輪を作る必要がある。 電流が流れるときは、(電気を流す) 金属同士をつなぐ必要がある。回路は必ず一回りする必要がある。 1つの輪となる回路を作る！(豆電球の内部にも注意) 全体が導体によって一つの輪になっていること。どこか1点にでも絶縁体が入ると電流は流れなくなる。
負荷 「電池定電 流源」の解 消	電池の電流の大きさは変わる。 回路の組み方によって、ある一点を流れる電流の量は変わるということ。 抵抗(豆電球)を直列につなぐと流れる電流が小さくなること。 直列回路の場合、豆電球の個数によって、回路に流れる電流の大きさが変わるということ。 直流回路において同じ電池1つでも抵抗の大きさが変化すると電流の大きさも変化する。
電流は連続 「電流消費」 の解消	回路はきれいに一周。途中で何かを抜かさない。 ロープモデルは有効。 回路中の電流は常に一定であること。 直列につないだ回路ではそれぞれの豆電球に流れる電流は同じということ。 回路に流れる電流の大きさは電池を流れる電流と等しいこと。
学習姿勢	目に見えない電流の動きを考えることにおいて、仮説を立てて考えていく。分からないことについて自分で考えながら実験していく。 モデルの重要性。

表6 「電気回路I」において学生がすっきりしなかったことの記述例

分類	学生の記述
電流の向き	電気(電流)の流れる向きがはっきりしなかったこと。 どちらから電流が流れだすか。 電流の向きの調べ方。 電流の流れる向きが分からないこと。 流れる向きを今回の実験では判断できない。
誤概念の未 解消	回路中の電流が常に一定であること、電球が二つあった場合の考察。 電池から何かが出ているのか、それとも回路内にすでにあるものが動いて点くのか分からない。 電流は消費されないのか?

4. 3 実践の成果

電気回路の基本的概念獲得にどれだけの効果があったか測るために、妥当性が評価済みでこの分野で標準的とされるElectric Circuits Conceptual Evaluation (ECCE)¹⁴⁾の和訳版の中から、直流回路で各電気抵抗の値が等しいものに関する24の設問を選んで授業後に実施した。各クラスの正答率は、69%から72%であった。授業時間の関係で、授業前に調査することはできなかったが、2016年春学期に「物理学演習」で相互作用型授業を行った際の授業前正答率61%、授業後正答率70%と同等の結果が得られたことが分かる。

グループごとにまとめた振り返りの記述を見ると、「電気回路I」では大事だと思うこととして、回路が閉じていること、回路内で電流が保存すること、論理的な思考などが挙げられ、授業の意図は概ね伝わっているものと考えられる。一方で、個人の記述には、誤概念が残っている様子も見られる。「電気回路I」を例に、大事だと思うこと、すっきりしないことの記述例をそれぞれ表5、6に示す。

豆電球のはたらきは電流の向きに依存しないが、実験・観察から判断できる事項とできない事項を認識するために、あえて電流の向きが判断できるかを問うたため、答えが得られないことを「すっきりしない」と

挙げた学生が多かった。「電気回路I」の宿題では、モデルを用いた現象を説明することの意義が伝わっていない様子で、記述が少なかった。「電気回路II」の宿題では、実験結果への言及が少なく、合成抵抗を計算でしか求められない学生も多く見られた。学習姿勢への働きかけは、まだ課題が多いと言える。

5. おわりに

主体的・対話的で深い学びを実現するためには、教員自身が主体的・対話的な学習の意義を見出し、深い学びを実現することが肝要である。また、知識や情報の伝達に重点の置かれた教育体制や学習姿勢を変革するために、学校種によらず継続的に一貫した取り組みを行わなければならない。本稿で報告した実験・演習の課題の実践を第一歩として、講義・実験・演習に一貫性をもたせ、分野間および大学・附属学校間で連携したカリキュラムを構築していく必要がある。

本研究は、東京学芸大学平成28、29年度教育実践研究推進本部「特別開発研究プロジェクト」の一環として行ったものである。

参考文献

- 1) 文部科学省小学校学習指導要領（平成29年告示）
http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2018/05/07/1384661_4_3_2.pdf
（アクセス2018.5.18.）
- 2) 文部科学省中学校学習指導要領（平成29年告示）
http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2018/05/07/1384661_5_4.pdf
（アクセス2018.5.18.）
- 3) 文部科学省高等学校学習指導要領（平成30年告示）
http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2018/04/24/1384661_6_1.pdf
（アクセス2018.5.18.）
- 4) 文部科学省小学校学習指導要領（平成20年告示）
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/youryou/syo/index.htm（アクセス2018.5.18.）
- 5) 文部科学省中学校学習指導要領（平成20年告示）
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/youryou/chu/index.htm（アクセス2018.5.18.）
- 6) 文部科学省高等学校学習指導要領（平成21年告示）
http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2011/03/30/1304427_002.pdf
（アクセス2018.5.18.）
- 7) 高等学校 物理II, p.140, 啓林館 平成19年使用（平成18年12月1日印刷）
- 8) 物理オリンピック日本委員会ホームページ, <http://www.jpho.jp>（アクセス2018.5.18.）
- 9) R. D. Knight, “Five Easy Lessons, Strategies for Successful Physics Teaching”, Addison Wesley, San Francisco, (2004)
- 10) 大城翔平, 東京学芸大学平成29年度修士論文
- 11) 物理基礎, p.222, 実教出版（平成24年1月25日発行）, 物理基礎, pp.185, 188-189, 数研出版（平成24年1月10日発行）, 物理基礎, pp. 189, 192-193, 啓林館（平成23年12月10日発行）, 高等学校物理基礎, pp.228, 232-233, 第一学習社,（平成24年2月10日発行）
- 12) 植松晴子, 物理教育, 63 (1), 2-7, (2015)
- 13) Tutorials from the UMd PERG, <http://umdperg.pbworks.com/w/page/10511238/Tutorials%20from%20the%20UMd%20PERG>（アクセス2018.5.18.）
- 14) PhysPort, Browse Assessments, <https://www.physport.org/assessments/>（アクセス2018.5.18.）

付録 A : 電磁誘導の実験テキスト

○実験目的

電場と磁場は密接に関係している。導線に電流を流すとその周りには磁場が発生する。1本の導線に発生する磁場は小さいが、導線を何重にも巻いてコイルを作ると、発生する磁場は強くなる。さらにコイルの中心に鉄芯を入れることで磁場を大幅に強めて電磁石として用いられている。

逆に磁石によって電流を発生させることもできる。これに関連した法則としてファラデーの電磁誘導の法則がある。発生する電流を誘導電流、電流を流そうとする電圧を誘導起電力と言い、発電機等に利用されている。

「実験 1. 誘導起電力の観察」

コイルに生じる誘導起電力をオシロスコープで測定する。コイルに磁石を近づけたり、静止させたり、遠ざけたりする時に発生する誘導起電力をそれぞれ観察、測定し、起電力発生条件について考察する。近づける極の違いによる起電力の違いについても観察する。

「実験 2. 磁石の落下速度と誘導起電力の測定」

磁石をいくつかの高さからコイルに落下させ、コイルに生じる起電力と磁石の速さを測定し、それらの関係について考察する。

「実験 3. 導体の形状とジュール熱」

コイルの代わりに銅のワッシャーを用いて、枚数やスリットの有無による影響を調べることで、導体の枚数や形状と誘導電流によるジュール熱との関係について考察する。

「実験 4. 金属パイプ中の磁石の落下」

鉛直に立てた銅やアルミのパイプ中に磁石を落下させて落下の様子を観察し、アクリルパイプ中での落下との相違について考察する。

○予習・事前課題

1～4の内容を学習し、実験ノートにまとめよ。

1. ローレンツ力について
2. ファラデーの電磁誘導の法則について
3. レンツの法則について
4. オームの法則、ジュールの法則について

実験 1. 誘導起電力の観察

○実験

(1) コイルについて

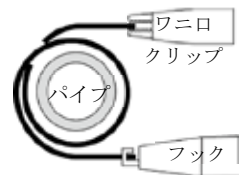
右図のように中太の透明アクリルパイプ(直径 20 mm, 長さ 60 mm)の中央にエナメル線を 50 回もしくは 100 回巻き付けたコイルを使用する。



(2) オシロスコープの接続

条件を合わせるため、図のように、コイルを上から見た時にエナメル線がオシロスコープのプロープのフック側からワニロクリップ側に向かってパイプを右回り(時計回り)に周回するように取り付ける。

フックとワニロクリップは、それぞれオシロスコープの信号端子とアース端子に繋がっている。



1-1 まず、オシロスコープのトリガーを AUTO にし、6 個連結した磁石を、シールが貼られた面がコイルの中央付近に来るまで上(図の手前側)から近づけたり遠ざけたりして観察せよ。その時にオシロスコープの設定(電圧や時間)を適切に設定すれば時々ピークが観測される。(全く波形が観測されていない場合には、オシロスコープの設定が間違っているか、コイルの両端の被覆が不十分である可能性がある。) 観察結果を元にトリガーレベルを適切に設定し、トリガーを Single モードとして同様のことを行うと波形が観測され表示が止まる。近づけると、静止させたとき、遠ざけるときに観測される波形を記録せよ。(波形が観測されない場合もある。)

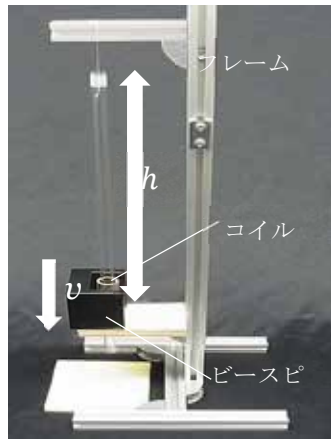
1-2 シールの貼られていない側をコイル側にして同様の実験を行い、波形を記録せよ。

1-3 観察された結果から、シールを貼った面の極を判定し、どのように判定したか説明せよ。

1-4 シール面をコイル側にして磁石を入射させた後、元の方向へ引き抜くのではなく、そのまま一定の速さでコイルを通過させるとどのような誘導起電力がオシロスコープで観測されるか。予想せよ。

実験 2. 磁石の落下速度と誘導起電力の測定

右図のように、実験装置を組み立てよ。コイルの付いた中太の透明アクリルパイプを木片の穴に合うように置き、テープで固定する。フックやワニ口クリップもテープでフレームに固定すると安定する。細長い透明アクリルパイプ(直径 12 mm,



長さ 400 mm)を、コイルの付いた中太の透明アクリルパイプの穴と木片の穴の両方を通してフレームに吊り下げて、上の穴から磁石を入れて落下させる。木片を動かして磁石の落下開始位置と



コイル (ビースピ) の中心の位置の高さの差 h を変えて、コイルの位置における磁石の落下の速さ v をビースピで測定し、同時にコイルに生じる誘導起電力 (オシロスコープで観察される正負のピークの最大値と最小値の差 V_{p-p}) をデジタルオシロスコープで観測する。ビースピの測定時の単位を cm/s にすると、 m/s で測定するよりも高い精度で測定できる。 v 及び V_{p-p} の測定は複数回おこない、平均を取ることに。

2-1 $h = 300 \text{ mm}$ となる位置に木片を固定し、磁石 1 個を、シールの貼ってある面を下にして落下させ、オシロスコープで観測される波形を記録せよ。

2-2 磁石を 6 個連結し、シールの貼ってある面を下にして、一番上の磁石の落下距離が 2-1 と同じになるような高さから落下させ、同様に観察記録し、2-1 と比較考察し、磁石 1 個と 6 個のそれぞれについて、なぜそのような波形になるか説明せよ。

2-3 磁石を 1 個に戻し、 h を 300 mm から 50 mm まで変化させ、 v 及び V_{p-p} を測定して表に記録せよ。

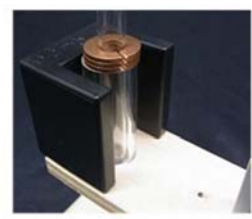
2-4 h に対する v 及び v に対する V_{p-p} のグラフを掛け。線形目盛で描いたグラフが曲線になる場合には、対数グラフ (片対数もしくは両対数) を掛け。

得られた結果について、実験 1 の 1-4 での予想とも比較し

て考察せよ。重力加速度の大きさには 9.8 m/s^2 を用いよ。

実験 3. 導体の形状と渦電流によるジュール熱

コイルの代わりにコイルの巻かれていない太い透明のアクリルパイプ(直径 25 mm, 長さ 60 mm)を置いて、その上に銅ワッシャーを置いて実験する。細長い透明アクリルパイプを、銅ワッシャー、太アクリルパイプ、木片の穴にすべて通した後フレームに吊り下げ、その上端から 1 個の磁石を落して太いアクリルパイプ中心での磁石の落下の速さを下図のように置かれたビースピで測定する。落下距離については 300 mm 程度でよい。



3-1 スリットの入っていないワッシャーについて、0 枚から 3 枚まで枚数を変えて、それぞれの場合の落下の速さ v_1 を測定せよ。

3-2 同様に、スリットの入ったワッシャーについても同様に実験し、落下の速さ v_2 を測定せよ。ただし、ワッシャーを重ねる際は、上図のようにスリットの向きを揃えて重ねること。

3-3 ワッシャーの枚数による磁石の落下の速さの変化のグラフを作成せよ。ただし、 v_1 と v_2 を一つのグラフ用紙にそれぞれ異なる形の点で描くこと。

3-4 得られた結果を、エネルギーに注目して考察せよ (電磁誘導により導体に流れる電流を渦電流という)。

3-5 ワッシャーの枚数を更に増やして棒状になるとどうなるか予想せよ。

3-6

実験 4. 金属パイプ中の磁石の落下(発展課題)

4-1 アクリル製, アルミ製 (薄いものと厚いものがある), 銅製の細長いパイプを鉛直に吊して落下に要する時間を測定せよ。

4-2 各パイプの形状についても測定し、形状や材質がどのように落下に影響しているか考察せよ。