

科学者の思考・行動様式を念頭においた 物理教育における体験型学習の変革

安田 淳一郎*
三浦 裕一**

〈要 旨〉

本稿の目的は、科学者の思考・行動様式に着目しつつ、物理教育における体験型学習の変革状況を概観し、その変革の具体的な事例の紹介を通じて、体験型学習の今後の発展可能性と課題を検討することである。

近年の大学教育における受動的学習から能動的学習への転換に合わせるように、物理教育の体験型学習にも変革の兆しが現れている。その変革の方向性の一つは、授業で十分に意識されてこなかった「問いを立て、仮説に基づいて予想し、実験結果について考察する」などの科学者の思考・行動様式を体験する機会を学生に提供することになったことである。変革の対象は、伝統的な体験型授業である学生実験にとどまらず、講義や少人数セミナーにも波及している。今年度に三浦が担当した少人数セミナーでは、科学者の思考・行動様式を体験する機会として、学生に身近な物理現象について実践的に測定をする機会を提供した。三浦の実践のような体験型学習には研究を行う上で重要な思考能力を向上させる効果が見込めるため、物理学科における卒業研究の準備教育として意義をもつ可能性がある。

1. はじめに

物理学を始めとする自然科学系の授業では、伝統的な体験型の授業として「学生が実験室で実験を行う授業」(以下、「学生実験」)がある。学生実験は講義と比べて学生の授業満足度がおしなべて高く、その意味では現代

*岐阜大学 教育推進・学生支援機構・准教授

**名古屋大学大学院理学研究科・准教授

においても比較的的成功している授業形式であると言える¹⁾。

しかし、伝統的な学生実験には、これまで長年に渡って解決されていない国内外共通の問題がある。その問題は、ノーベル物理学賞を受賞したミリカンによる次の言葉で代表される (Millikan 1903)。

今日の学生実験に対する最も深刻な批判は、それがしばしば指示書に盲目的に従っていくだけのものに堕して、機器の操作方法を習得する以外にまったく価値がないというものである。

ミリカンの言うように、伝統的な学生実験では実験指導書に細かく指示が与えられているため、学生は実験手順や眼前の現象について、考える余地をあまり与えられていない。そのため、学生は実験を通じて装置の操作方法を習得し、講義で示された理論的な結果が正しいことを確認する程度に止まるような場合もある。

このような状況は多くの大学で未だに継続しているものの²⁾、近年の大学教育における受動的学習から能動的学習への転換の時流に合わせるように、物理教育の体験型学習にも変革の兆しが現れ始めた。その変革の方向性の一つとして、それまで授業で十分に意識されてこなかった「問いを立て、仮説に基づいて予想し、実験結果について考察する」などの科学者の思考・行動様式を体験する機会を学生に提供するようになったことが挙げられる。

本稿では、科学者の思考・行動様式に着目して、物理教育における体験型学習の変革状況を概観し、その変革の具体的な事例の紹介を通じて、体験型学習の今後の発展可能性と課題を検討する。2章では、国内外の体験型学習の変革状況について概観する。3章では、大学初年次の少人数セミナーで三浦が実践した事例を紹介し、科学者の思考・行動様式の具体的な内容や、実践を通じて明らかになった問題点を示す。4章では、体験型学習の今後の発展可能性について、示唆と課題をまとめる。

2. 物理教育における体験型学習の概観

理学部物理学科における体験型学習にはどのような形式のものがあるのか。ここでは、本稿なりに整理をしておく。

物理学科における体験型学習の形式としてまず挙げられるのは、学生が

操作を行う学習形式である。たとえば、学生実験は学生による実験器具の操作を伴うため、この形式に含まれる。先にも述べたように、学生実験は伝統的な授業形式であるが、指導書に忠実に従って進める形式では学習効果が限定的であることや、学生の態度が受動的であることなどの問題点が長年に渡り指摘されてきた。

そこで近年では、もう一つの体験型学習の形式が注目されるようになってきた。それは、科学者が新たな自然現象や法則を発見する際の思考・行動様式を、学生が体験する学習形式である³⁾。この形式は、学生が能動的に学習し、物理概念を深く理解すること、記憶を保持することなどの効果を期待して導入されている⁴⁾。この形式における一部の方法は、実験を含む方法に限定した「発見学習：学習者がすでにできあがった知識体系を学ぶのではなく、知識が生成されるプロセスに参加し、規則性、法則、関連性などを自ら発見していく学習法（谷川 2002）」と共通するものと考えられる⁵⁾。

科学者の思考・行動様式を念頭においた変革の対象となる授業形式は、学生実験のみにとどまらない。講義や少人数セミナーについても、同様の変革の兆しが見られる。以降では、それぞれの授業形式について、変革の具体的な状況を概観していく。

2.1 学生実験の変革状況

大学初年次の学生実験は専門基礎科目として位置づけられており、その学習目標は実験装置の操作方法・データの整理法・レポートの書き方の習得などに設定されることが多い。これらの基礎的なスキルは専門科目に向けて必要な能力ではあるが、その習得のために15週を費やしている現状には検討の余地がある。同様の問題は、大学3年次に設けられることが多い専門科目の学生実験にもみられる。このような状況はこれまで幾度も指摘されてきたが、国内外の多くの大学で未だに継続している。

学生実験の状況が硬直している理由として、いくつかの可能性が考えられる。一つは、実験テーマや実験器具の刷新に要する経費や労力の大きさである（前川 2000）。実験テーマを1つ開発するためには数百万円程度の膨大な費用がかかることもあり、ひとたび実験テーマを開発すると、実験器具が消耗するまで、十何年にも渡って継続せざるを得ない状況になることもある。もう一つの理由は、講義担当者と実験担当者の連携不足など、教育改善に係わる組織的な議論が不十分であることが挙げられる⁶⁾。この

ような事情があるため、学生実験の大胆な改編は容易でない。

それでも、一部の大学では大胆な改編を試みたり、あるいは学生実験の一部を試行的に改編したりするなど、体験型学習の変革の兆しが現れ始めている。その具体的な方法は、おおよそ2つに分類できる。

一つの方法は、実験の指示を実験指導書で与えるよりも簡素にした教材（ワークシート）を用いて、学生に実験方法について考えさせたり、現象について理由づけさせたりする方法である⁷⁾。この方法では、教員による多少の誘導があることを前提に、学生が科学者の思考・行動様式の体験を通じて、物理概念の理解度を高めることや科学的思考力を高めることなどを意図している。この形式の授業では、注意深く設計された教材が必要であるが、国内での教材普及の事例はあまり見られない。一方で、国外では教材が普及している事例がいくつかあり、たとえば、マクダーモットらによる *Physics by Inquiry* (McDermott 2006)、ロウズらによる *Work Shop Physics* (Laws 1999) などが挙げられる⁸⁾。

もう一つの方法は、教員による誘導をさらに少なくし、実験指導書をなくして、学生にテーマ・課題のみを与えて実験を設計させる方法である。この方法では、実験方法が絞られていないため、「物事を抽象的にとらえ構造化して整理する思考力」(島田ほか 2011) や、実験結果の妥当性についてより緻密に考察する能力が要求される。一般的に、自由課題実験もしくは Project Based Learning と称されるこの方法は、東京農工大(島田ほか 2010, 2011) を始め、熊本大など国内でもいくつかの事例がみられる⁹⁾。

このように実験指導書を簡素化もしくは廃止した学習は、国内においては、近年のスーパーサイエンスハイスクールの事例のように、一部の中等教育において積極的に取り入れられている。そのため、このような学習が大学に普及することは、高大接続にも資するものと考えられる。

2.2 講義の変革状況

学生実験の変革は、講義中に実験を行う方法(以下、「講義実験」)にも波及している。講義実験そのものは新しい教授法ではなく、300年以上の歴史を持つ伝統的な教授法である(Taylor 1988: 11-2)。講義実験は学生への動機づけや講義で示した物理法則の確認などの機能が想定されているため、気軽に取り入れることができる。また、講義実験は高価な機器を必要としないため、国内外で広く普及している。

表1 講義実験の実施の秘訣（一部抜粋）

実験前	<ul style="list-style-type: none"> ・ 結果を学生に予想させる <ul style="list-style-type: none"> - 予想を学生から集め、選択肢としてまとめる - 学生の予想分布を集計し、共有する - 予想を理由とともに記録させる ・ グループで結果予想について議論させる <ul style="list-style-type: none"> - 予想を学生から集め、選択肢としてまとめる - 学生の予想分布を集計し、共有する - 予想を理由とともに記録させる
実験中	<ul style="list-style-type: none"> ・ 学生に実験の補助を頼む ・ 実験を複数回行い、現象をよく確認させる
実験後	<ul style="list-style-type: none"> ・ どのような現象が起きたかを学生に説明させる（教員が実験結果を説明すると、結果の解釈を一方向的に与えてしまう） ・ どうしてその結果が得られたか、物理的解釈をグループで議論させる ・ 思考実験をさせて、実験結果の解釈を論理的に補強させる

出典：『物理学講義実験ハンドブック 第2版』（三浦ほか 2011）より

その一方で、これまで多くの研究によって「学習者は講義実験を一度見せられただけでは、何も習得することができない」ということが実証的に明らかにされてきた (Majerich 2008: 13)。つまり、教員が実験を実演することで、学生の興味が喚起されるなど一定の効果はあるかもしれないが、学生の記憶の定着や理解度の向上に関しては、効果がみられないというのである。

このような状況を受け、近年では、学生に科学者の思考・行動様式を体験させることを意図した講義実験の方法が開発されてきている。たとえば、ソコロフらが開発した Interactive Lecture Demonstrations (ILDs) の方法は講義中に学生が行う実験と討論で構成されており、学生は一連の工程の中で、「観察－予想－討論－実験－考察」¹⁰という科学者の思考・行動様式を体験する (Sokoloff・Thornton 1997)。ILDs の効果は、力学概念の理解度を測定するためにソントンらが開発した Force and Motion Conceptual Evaluation (FMCE) という指標によって測定されており、事前事後調査の結果、FMCE の正答率が 20%未満から 70%~90%まで上昇したことが報告されている (Thornton・Sokoloff 1998)。このように、ILDs の方法は学生の記憶の定着や理解度の向上に関して、大きな効果があることが明らかになっている。

ILDsのような方法は確かに効果的であるが、準備の負担が大きいことから、我が国の研究大学において導入する際には、現状と合わせるために何らかの工夫が必要である。

そこで、教員の負担を軽減しつつ、講義実験の効果を高められる方法として、通常の講義実験に科学者の思考・行動様式に関する要素を柔軟に組み合わせる方法が考えられている。名古屋大学の教員を中心とした物理学講義実験研究会では、「講義実験の実施の秘訣」として、科学者の思考・行動様式に関する要素を、表1のようにまとめている（三浦ほか 2011）。また、同研究会では、学習者の科学的推論能力を高める効果が期待される方法として、複数回の講義実験を順序立てた「系統的講義実験」を提案し¹¹⁾、その構成方針として、「意外性のある実験を最初に提示する」「定性的な比較実験を提示した後に、定量的な比較実験を提示する」などを挙げている（安田ほか 2011）。

3. 少人数セミナーにおける体験型学習の事例

本章では、物理教育における体験型学習の一例として、三浦が2013年度前期に実施した授業を紹介する。三浦の授業は、名古屋大学1年生を対象にした全学教育必修科目である「基礎セミナー」の一授業である。

以前から三浦が認識していた問題として、ほとんどの物理系の学生は高校物理の知識を習得しているものの、習得した知識と日常生活で出会う物理現象を結びつけられていないという問題があった。そのため、三浦の授業では従来の基礎セミナーのように輪講を行うのではなく、身近な物理現象を題材にして、科学者の思考・行動様式を体験する機会を学生に提供した。

授業の具体的な形式は、「調査して発表する形式」と「実践的な測定を行う形式」に分けられる。以下では、それぞれの形式の具体的な内容、及び実践を通じて明らかになった問題点と示唆について順に報告する。

3.1 調査して発表する形式

この形式では、学生は「テーマの選択－調査－レポート作成－プレゼン発表－議論」という行動様式を体験した。テーマの選択肢は、学生の関心を意識し、次の3テーマを用意した。

- ・ 化石エネルギー資源の埋蔵量はどれほどあるのか。また、それらが排

出する温暖化ガスはどれほどか。

- ・ シェールガスなど新エネルギー資源の埋蔵量はどれほどあるのか。それらの採取方法と問題点とは何か。
- ・ エンジンにはどのような種類があるのか。また、それらのエネルギー効率はどれほどか。

各グループは四人一組で課題に取り組み、テーマの選択から発表・議論までを3週で行った。

この形式の実践を通じて、いくつかの問題点が明らかになった。1つ目の問題点は、学生はインターネット検索を利用して調べた内容を、理解しないまま切り貼りして発表をまとめる傾向があるということである。これは、質問に対して学生が答えに窮する場面が幾度となくみられたことから推察されたことである。この状況の改善策として、インターネット検索で調べただけでは答えられない課題を設定する方策がある。具体的には、資料を集めるだけでなく、問題点を整理し、解決すべき点を考えさせるような課題を設定する方法が考えられる。

2つ目の問題点として、学生が理解を深めることが難しいテーマがあることがわかった。たとえば、エンジンの効率について理解を深めるためには熱力学の知識が必要であるが、学生は大学の授業で熱力学をまだ履修していないため、理解を深められていないようだった。そこで今回は、「水飲み鳥」の実験を演示して熱機関の動作原理を学生に考えさせ、その後で熱機関の動作原理を教員が解説した。このように、教員は学生の履修状況を考慮し、定性的に説明する方法を用意しておく必要がある。

3.2 実践的な測定を行う形式

この形式では、学生は「測定－議論（想定外の事態における考察－信頼性の評価－現象についての予想-最適化するための予想）」などの思考・行動様式を体験した。測定のテーマは、学生に不思議だと思わせることや、問題意識を明確に持たせることを意識し、次の3テーマを用意した。

- ・ エレベーターの加速度を測定し、体感的な加速度と測定された加速度を比較する
- ・ ドライ・ミストの冷房効果の測定し、エアコンと比較したときの有効性と経済性について評価する
- ・ 金属が磁場から受ける力を測定し、物質の常磁性、反磁性、強磁性を定性的に理解する

3つの測定は、すべて教室外で行うものである。学生は四人一組で測定に取り組み、各テーマの測定を各1~2週ずつかけて行った。

以下では、上記のテーマの中で、エレベーターの加速度測定について、詳しく報告する。このテーマの意義は、精度よく測定できる実験用の台車ではなく人間が乗って加速度を体感できる乗り物の加速度を測定することによって、人間の感覚と測定値を比較できる点にある¹²⁾。

このテーマで、教員が用意した課題は、次のようなものである。

- ・ エレベーターが動き出す瞬間と停止する瞬間に人間は力を感じるが、その力の大きさはどれほどなのか。
- ・ エレベーターが加速をやめて一定速度に進むときの速さは、低いビルよりも高いビルの方が速いように感じる。これは真実か、それとも錯覚か。真実である場合、エレベーターが発進するときの加速度も相対的に大きいのか。



図1 エレベーター内における電子天秤による重量測定

発進、及び停止時に、
重量が6%だけ変動した。

測定の方法はすべて、教員が用意した。エレベーターの加速度を測定する方法として、学生らは携帯型の加速度測定計と携帯型の電子天秤を用いた。電子天秤を用いた測定では、学生はエレベーター内での天秤の表示の時間変動を携帯電話で録画撮影した(図1)。これらの測定を、学内にある高さの異なるビルごとに実施した。

学生たちが電子天秤を用いて測定した結果、エレベーターが発進、及び停止するとき、物体の重量が約6%だけ変動することがわかった。このとき、発進時と停止時で重量の変動幅が異なっていた。これが真実ならば、発進時と停止時でエレベーターの加速度が異なっていることになる。

そこで、電子天秤による測定結果と加速度計による測定結果を比較し、実験結果の妥当性を評価するよう、学生に新たな課題を与えた。エレベーターの加速度の時間変化の例を図2に示す。この図から、エレベーターの発進時と停止時の速度の変動幅は、電子天秤による測定結果とは異なり、同じであることがわかった。

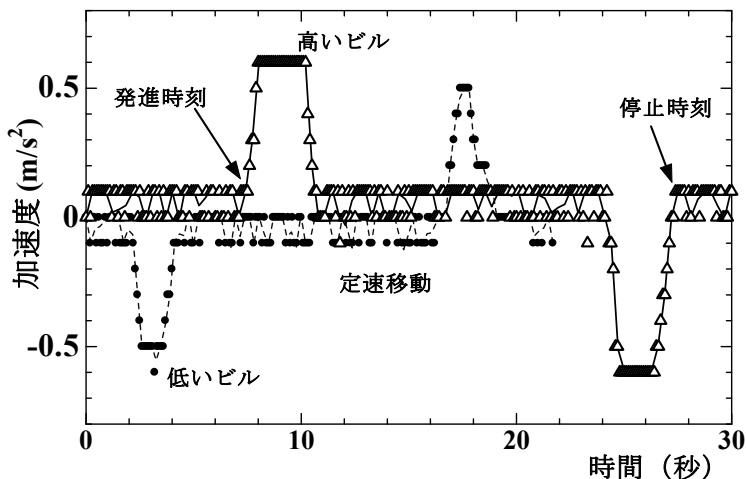


図2 エレベーター内の加速度測定の例

エレベーターが上昇した瞬間から上向き加速度(プラス方向)が生じて加速し、速度一定になった時点で加速度はゼロになる。停止する直前から下向きの加速度(マイナス方向)が生じて減速し停止する。このようなグラフは、加速度測定器で自動的に出力される。

以上の測定結果について、教員と学生で次のような議論を行った。

最初に、教員から「電子天秤と加速度計の測定結果はなぜ異なったのか」と発問して議論した。その結果、電子天秤は試料を載せ、表示が落ち着いてから数値を読む機器であり、増量時と減量時で一定の値に落ち着く時間が異なるため、時間変動の激しい測定には適さないと結論された。このような結果は、教員が事前に予測していなかったものである。そのため、学生は教員との議論を通じて、「想定外の事態における考察」に関する体験ができたものと考えられる。

次の議論では、教員と学生で次のようなやりとりがあった¹³⁾。学生のそれぞれの回答には、科学的な思考様式の要素を示してある。

- 【教員】** 加速度と速度の関係を考慮すると、測定値の信頼性を評価する方法として、どのような方法が考えられるか。
- 【学生】** 加速度の測定値を時間について積分すると速度が求められる。エレベーターが停止したときに、積分した速度がゼロにならない測定は信頼できないのではないか。実際に計算すると、ゼロになった測定とならなかった測定があった。(測定値の信頼性の評価)
- 【教員】** 速度がゼロになれば、信頼できると本当に言えるのか。さらに、速度と移動距離の関係についても考察してみては。
- 【学生】** 積分した速度が偶然にゼロになる場合もある。速度を積分して得られた高さ、その高さの実測値を比較して一致したら信頼できるのではないか。(測定値の信頼性の評価)
- 【教員】** 加速度の測定値がゼロの回りで揺らいでいるが、低減する方法として、どのような方法が考えられるか。
- 【学生】** エレベーターの床と加速度センサーの間に柔らかい布を挟んではどうか。(現象についての予想)
- 【教員】** その方法は、どのようなデータ処理に対応するか。
- 【学生】** 測定値を時間平均する処理に対応する。ただし、平均化する時間が長すぎるとエレベーターの運動の時間変化を正しく記録できない。(最適化するための予想)

上記の議論においては、学生に次の事項について留意させた。

- ・ 自分の意見を分かりやすく簡潔に述べること
- ・ 指摘を受けることの重要性を認識すること

- ・ 批判に対して感情的にならず、冷静かつ建設的に対処するよう心がけること

3つ目の事項は、冷静に自説を評価し、時には自説を捨てざるを得ない状況が起こりうる科学者の態度として、特に重要である。

この形式の実践を通じて、いくつかの問題点が明らかになった。1つ目の問題点は、90分の授業時間では足りず、授業時間を延長することが度々あったことである。今回の授業では、次の時限の授業を履修している学生はいなかったが、一部の学生から不満が聞かれた。しかし、ほとんどの学生は終了時刻を気にせずに測定に取り組むなど、学生の意欲的な姿勢がみられた。今後の方策としては、時間を効率的に活用するために、授業時間外での学習について、授業時間内に確認しておくなどの方策が考えられる。

2つ目の問題点は、基礎セミナーには特別な設備が用意されていないため、自作の教材を使用し、物理学実験室の設備を借用したことである。物理学実験室の設備は、学生実験が行われていない時限にしか借用できない。そのため、体験学習用の実験室などの設備が整えられれば、体験学習の普及に役立つものと考えられる。

3つ目の問題点は、今回のような授業形式は、教員にとって準備の負担が大きいことである。準備の負担を軽減するためには、体験型学習用のワークシートなどの教材を整備すること、さらには、自主開発した実験教材を教員同士で互いに共有できるシステムを構築することなどの方策が考えられる。

4. より体系的な体験型学習に向けた示唆と課題

本稿ではこれまでに、物理教育における体験型授業の近年の変革について、科学者の思考・行動様式に着目し、変革の経緯と事例について報告してきた。本稿を締めくくるにあたり、物理教育における体験型学習の今後の発展可能性について、示唆と課題をまとめる。

本稿で取りあげてきた体験型学習の事例は、以下で説明するように、物理学科の卒業研究に向けた準備学習として、積極的な意義を持つ可能性がある¹⁴⁾。物理学科の卒業研究は、最先端の研究課題に関わる未知の現象について実験や考察を行うなど、正に、科学者の思考・行動様式を体験する学習形式の一環であると言えるが、卒業研究までに十分な準備学習が整備されているかという点について、これまで体験型学習的な観点からどのよ

うな検討がなされてきたらどうか。工学系物理教育の事例ではあるが、島田ほか（2011）は、卒業研究までに自由課題実験を課すことの意義について、次のように述べている。

（自由課題実験に参加した）学生の「弱点」が検出されないままに卒業研究の時点で発覚すると、それはそのまま研究室教員の負担となってしまふ。しかしこれらは必ずしも学生自身の問題というわけではなく、いくつかの自明でない思考能力を獲得する機会を逃してただけで、適切な指導と訓練によりそれを補える

東京農工大の一学科では卒業研究の準備教育として自由課題実験を組み込み、「自明でない思考能力」として「物事を抽象的に捉え構造化して整理する思考方法」を指導しているのである。同様に、本稿で取りあげた体験型学習は、物理学科における卒業研究の準備学習としての意義をもつと考えられる。その一方、現状では、物理学科の体験型学習は一部の教員が個々の努力で実践している場合が多いのではないか。このような状況では、カリキュラム上で学生に卒業研究に必要な能力の系統性を明示できない上に、授業に関する知見の普及、継承、及び組織的な改善にも支障をきたす可能性がある。そのため、体験型学習を物理学科の学士課程教育に体系的に位置づけることを検討することには意義があると言える。

体験型学習の体系的な位置づけについて検討するためには、卒業研究を念頭において学生に身に付けさせるべき学習成果を明示したディプロマポリシーやカリキュラムポリシーなどが必要になるかもしれない。しかし、そのような性質をもつポリシーが物理学科において整備されている事例は現時点ではそう多くない。そのためここでは、体験型学習の実践面における課題を、三浦の指摘を踏まえて次のようにまとめておく。

第一の課題としては、体験型学習における教員の負担をどのように軽減すればよいのかということがある。これについては、本稿で取りあげた物理学講義実験研究会のような有志の教員集団が体験型学習を効果的に実施するための方法を検討し、ワークシートなどの教材や、テーマの選定や成績の評価方法に関する指針を開発し組織的に共有することによって、ある程度は対処できる可能性がある。そのためには、教員が協働して教授法や教材の開発に取り組みやすい環境とはどのようなものであるか、具体的には、

活動の助成や教育業績の評価の在り方、職務の公的な位置づけなどについて検討する必要がある。

第二の課題としては、体験型学習を一定の時間内に収めるためにはどうすればよいのかということが挙げられる。たとえば、教員がある程度誘導する形式の体験型学習の場合には、注意深く設計された教材を用いることによって、時間管理しやすくなる可能性がある。また、学生の主体性をさらに重視した自由課題実験などの場合には、学生に授業外学習を促す必要性が考えられるが、そのためには、授業外学習の方法について学生と教員で検討すること、また学生が授業外学習に取り組める実験室を整備することなどの方策が考えられる。

学士課程教育の各ポリシーが定められる際には、現実的にどのような授業形式・方法が可能か、個々の授業で何を重視して教えているかなどをボトムアップ的に考慮して定められる側面もあると考えられる。そのため、上記の実践的な課題を克服していくことが、体験型学習の体系的な位置づけのための第一歩であると考えられる。

注

- 1) 具体例として、名古屋大における 2012 年度授業アンケート結果が挙げられる。「この授業を通して知的な関心、学習の手がかり、もしくは達成感が得られましたか」という、学習の満足度に関する質問項目において、「あてはまる」「ややあてはまる」という肯定的な回答をした学生の割合は、物理講義では 74.3%、物理実験では 80.8%であった。この傾向は、例年みられる傾向である（名古屋大学教養教育院 2013）。
- 2) 伝統的な学生実験の問題が、ミリカンの指摘から 100 年が経過した現代においても国内外の多くの大学で継続していることは、Redish（2003=2012: 245-6）、及び高橋（2004）によって指摘されている。
- 3) たとえば、東京農工大の SAIL プロジェクトの事例では、「課題設定－課題分析－設計－製作－実験－考察－まとめ－発表」という思考・行動様式を学生に体験させている（島田ほか 2010）。これは工学系物理教育の事例であるが、その思考・行動様式には、理学部物理学科の実験系物理学者の思考・行動様式との共通性が認められる。
- 4) ただし、体験型学習の目的は多様であり、具体的な方法ごとに目的が異なるため、一概にまとめることは容易ではない。具体的な方法とその目的については、後の章で紹介する。
- 5) 科学者の思考・行動様式を体験する形式に含まれるそのほかの形式としては、

研究室や大型の観測・実験施設を訪問する形式も考えられる。

- 6) この状況は、学生実験の内容と講義の内容が整合していないという別の問題の原因にもなっている。実験と講義の整合性の改善策については、陳ほか(2007)の文献が参考になる。
- 7) 田中(1997)は、専門科目の学生実験が昭和40年から昭和50年にかけて、「細かい指示は一切せず、自由度を多分に残した」実験から「テキストさえ読めば実験内容が理解できる程度に丁寧な説明」を付け加えた実験に変遷するにつれて、学生が「自分で考えて実験を進めることもやめ、書いてあることしかしなく」なったことを回顧している。ここにも、いわゆる「知識共有のジレンマ」(松尾 2006: 4)があったことが伺える。
- 8) マクダーモットとロウズの方法については、物理概念の理解度の向上について顕著な効果があることが実証的に示されている (Redish 2003=2012: 259-72)。
- 9) 熊本大「物理実験 A、B」の事例については、下記のウェブサイトを参照。熊本大学、『熊本大学ティーチングオンラインー多様な授業方法』。
(<http://kuto.kumamoto-u.ac.jp/index.php/various/pbl/13>, 2013.10.31.)
- 10) 具体的には、(1) これから行う演示実験を簡単にやって見せながら説明する。(2) 予想を立ててシートに書くよう学生に求める。(3) 近くの学生と予想について話し合い、意見が一致した予想をシートに書くよう求める。(4) ボードに様々な予想を書き出し、クラス討論を行う。(5) 演示実験を行い、データを取る。学生には結果をシートに書き写すよう求める。(6) なぜ得られた答えが理にかなっているのか、なぜ他の答えに問題があるのかを振り返る短いクラス討論を行う (Redish 2003=2012: 136)。
- 11) 系統的講義実験の具体的な事例としては、三浦(2010)及び、下記のウェブサイト参照。
物理学講義実験研究会、『VERIOR INTERPRETATIO NATURAE』。
(<http://physics.main.jp/physdemo/>, 2013.10.31.)
- 12) 乗り物の加速度測定においては、揺れが大きな障害となるが、エレベーターは単純な直線運動であり、レールに沿って運動するため揺れが少なく測定しやすい。また、エレベーターは再現性よく頻繁に発進・停止するので、容易にくり返して測定できた。これらの点において、自動車や列車などに比べてエレベーターは優れた測定対象と言える。ただし、エレベーターは急加速や急減速をしないため、加速度の絶対値は小さいという欠点もある。
- 13) この議論で取りあげた測定値のゆらぎは、一般的なシミュレーションや高精度な実験では問題にならない。今回の測定では、精度が低かったことが幸いし、有意義な議論をすることができた。
- 14) 卒業研究は、我が国に特徴的なシステムであるため、これを最大限に活かすためのカリキュラムを構築することの意義は大きい。

参考文献

- Laws, Priscilla, W., 2004, Workshop Physics Activity Guide, New York: John Wiley & Sons.
- Majerich, David M., Schmuckler, Joseph S., and Fadigan, Kathleen, 2008, Compendium of Science Demonstration-Related Research from 1928 to 2008, Philadelphia: Xlibris Corporation.
- McDermott, Lillian, C., 1995, Physics by Inquiry, New York: John Wiley & Sons.
- Millikan, Robert, A., 1903, Mechanics Molecular Physics and Heat, Boston: Ginn & Company.
- Redish, Edward, F., 2003, Teaching Physics with the Physics Suite New York: John Wiley & Sons. (=2012、日本物理教育学会監訳、『科学をどう教えるか：アメリカにおける新しい物理教育の実践』丸善。)
- Sokoloff, David, R. and Thornton, Ronald, K., 1997, “Using Interactive Lecture Demonstrations to Create an Active Learning Environment”, Phys. Teach., 35: 340-7.
- Taylor, Charles, 1988, The Art and Science of Lecture Demonstration, New York: Taylor & Francis.
- Thornton, Ronald, K. and Sokoloff, David, R., 1998, “Assessing student learning of Newton’s laws: The Force and Motion Conceptual Evaluation and the Evaluation of Active Learning Laboratory and Lecture Curricula”, Am. J. Phys., 66(4): 338-51.
- 島田絃行・室尾和之・仁藤修・佐野理・三沢和彦、2010、「東京農工大学 SAIL プロジェクトにおける「自由課題実験」と「研究室体験配属」の実施」『大学の物理教育』16(2): 112-5。
- 島田絃行・庄司雅彦・室尾和之・仁藤修・佐野理・三沢和彦、2011、「学生の思考方法に着目した SAIL『自由課題実験』の新しい指導方針」『大学の物理教育』17(2): 80-3。
- 高橋浩、2004、「失われた 100 年 - 物理学生実験は進歩したか」『大学の物理教育』10(2): 72-5。
- 田中翠、1997、「学生実験を通してみた学生気質の変遷」『大学の物理教育』1997(2): 7-9。
- 谷川幸雄、2002、「発見学習の基礎理論と実際」『北海道浅井学園大学生涯学習システム学部研究紀要』2: 169-85。
- 陳輝・藤原充啓・岩崎信、2007、「講義と連携していない学生実験における実験前インストラクションの設計」『大学の物理教育』13(1): 29-33。
- 名古屋大学教養教育院、2013、『名古屋大学における授業アンケート調査報告書（全学教育科目）平成 24 年度』。

- 前川覚、2000、「物理学学生実験の改革と履修学生の意識調査」『大学の物理教育』2: 37-42。
- 松尾陸、2006、『経験からの学習－プロフェッショナルへの成長プロセス』同文館出版。
- 三浦裕一、2010、「科学的概念を構築するための科学教育の試み」『名古屋高等教育研究』10: 39-58。
- 三浦裕一・小西哲郎・中村泰之・千代勝実・齋藤芳子・安田淳一郎・森昌弘、2011、『物理学講義実験ハンドブック 第2版』名古屋大学高等教育研究センター。
- 安田淳一郎・齋藤芳子・小西哲郎・中村泰之・千代勝実・古澤彰浩・三浦裕一、2011、「物理学講義における系統的演示実験の試み」『大学の物理教育』17(3): 121-4。