

物理現象を題材とした実践的グループ討論

高橋 忍^{a)} 佐東 信司^{a)}

要旨：将来教職を目指す学生を対象にした理学部Ⅱ部他学科物理実験の授業で実施しているグループ討論について報告する。内容は以下のとおりである。

1つの物理現象がテーマとして与えられ、グループ毎にどのような実験と測定を行えばこの現象をより理解できるかを討論する。また、実際に実験装置を構築して測定を行い、解析・まとめ・発表を行う。発表に対し講評が与えられ、それを基にフィードバックして、報告書をまとめる。

この授業の狙いは、中学、高等学校等の教育現場で行われているグループ実験による討論を体験することで、様々な利点や問題点を理解することである。また、限られた状況において実験を工夫しなければならないことから、この体験を教育現場での教材開発等に活かす事を目標としている。

今回の課題は「摩擦」についてグループ討論を行った。日常的に体験する現象であるが、用意された部品を如何に組み合わせて実験装置を構築し、それに対応した測定手法を工夫することで、限られた時間内に成果を得ることができるかを実感させることである。

成果発表は、ホワイトボードにまとめて行った。教員からは、成果が得られるまでの測定過程、測定結果の妥当性等について質問し、学生は自己成果に自信をもって回答し、充実したグループ討論が実現した。この討論内容をフィードバックして再度グループ内で検討し、成果報告書を作成した。

また、この体験が将来教育現場で活かすための実践的な手法を修得できたことは大変有意義であったと考えられる。

キーワード：物理実験 グループ討論 教材開発

§ 1. はじめに

将来、教職を目指す学生を対象にした理学部Ⅱ部他学科物理実験（化学科・数学科学生が対象）に於いて、既定の実験課題¹⁾として下記の10項目を実施している。

- 1) マイクロメータ・ノギスの測定法
- 2) 白湯の冷却過程の測定
- 3) オームの法則
- 4) 質点系の重心
- 5) ばねの単振動
- 6) 運動量とエネルギー
- 7) 磁力線と電気力線
- 8) 落下運動と空気抵抗
- 9) 熱の仕事当量
- 10) 簡易分光計製作と水素スペクトル解析

^{a)} 理学部第二部 物理学科

上記の 1)、4)、10) は個人実験であるが、それ以外は 2 人 1 組で実施している。実験に先立ち学生の実験ノートの予習状況を確認している。その後、実験の原理と実験方法を理解してから測定を行い、得られたデータの解析をすることによって物理法則を確認する。これにより、様々な物理現象を理解するためには、どのような測定が必要かを学ぶ“問題解決型教育”を行っている。また、実験後に成果報告書を作成し、その内容を把握することにより、物理法則の理解を深めることができるようにしている。

次の教育段階として、自ら新たな課題を決めて実験を行う“課題探求型教育”の場合には、これまでに修得した経験を踏まえ、物理法則を表現するにはどのような実験手法が必要であるかを考えさせる実践教育が必須となる。

我々は日常生活で起こっている様々な自然現象を五感によって体験しているが、これは定性的な理解である。科学は実際に起こっている現象を捉えたものであり、その現象を物理実験によって定量的に捉え²⁾、そこから法則を導き出すことで、より深く理解することができる。

特に、将来教員となる学生への物理学実験では、教科書に記載されている内容を生徒に理解させるには、実験を通して実感する事が有効な手段である。更に、生徒への理解を深めるには、その場の状況に応じた実験が必要となる場合がある。その時、教育現場の環境に合致した実験の工夫も重要となり、実践的実験およびそれを実現するための「実践的グループ討論」を修得させることが必須となる。このため、既定の実験課題 10 項目終了後に 1 コマ (3 時間) の時間を割いて「実践的グループ討論」を組み込んでいる。これらの修得後には、自ら実験課題を設定する時にどのような実験をすればよいのかを考える能力が向上し、将来教材開発を行う場合にも自由な発想を育む実践教育の足掛かりとなる。その「実践的グループ討論」の成果について報告する。

§ 2. 実践教育過程

下記に実践教育の過程について示す。

(1) 課題の設定

課題は一つの物理現象である「摩擦」を取りあげた。今回は 3 時間と限られた時間内での実習であるため、手際よく進めなければならない。また、実践教育であるため、特に、定量的なデータ解析および生徒が聞いても分かりやすい成果内容で発表させることを目標にした。

(2) グループ編成と討論の注意点

小人数教育として 3 ～ 4 名でグループ編成を行い、5 グループとした。グループ討論では全ての班員が自分の考えを述べ、多面的な意見をまとめ、充実した討論ができるように工夫した。特に注意すべき点は、グループ内のコミュニケーションを円滑に行う方策として、自分の考えを整理して発言し、全員が討論できる環境作りを心がけた。

(3) 物理知識の確認と測定方法等の決定

各自の持っている物理の知識を確認し、グループで多様な意見を出し合ってまとめる。次に、この現象を説明するにはどのような測定方法が必要なのか、効果的な手法であるのかを検討する。今回、実験に使える道具は実験室にあるものを自由に活用し、実験時間が限られている中で、測定方法・データ収集・解析方法などの時間配分を考慮して実現することが重要となる。また、定量的な説明をするための準備も必要となる。

(4) 実験装置の構築

実験に必要な道具を揃え、装置を構築する。最初に測定が可能かの検討を行い、予備実験から装置とし

ての問題点がないことを確認する。

(5) 測定と解析

実験を行ってデータを取得し、データの解析を行う。この結果から、物理法則を導き出すことが出来るのかを検討する。実験結果が物理法則と合致しない場合には、測定方法に問題があるのか、装置の不備であれば、どこを改良すればよいのか等を検討し、再度測定を行うと共に再現性を確認する。

(6) 成果発表

得られた成果の内容をホワイトボードにまとめ、発表時間は10分、質疑応答時間は5分とした。各グループとも、ホワイトボードに目的、原理、方法、結果、考察をバランス良く配置し、見る側に分かりやすく表示することが重要である。

発表で自分たちが何を説明したいのか、聞き手に理解してもらうにはどのような発表がよいのかを考え、班の全員が発表できる役割分担を考えることが重要である。

以下に発表の骨子を示す。

- ・ 目的を明確にする。
- ・ 実験方法は簡単な略図を使って分かりやすく説明する。
- ・ 実験結果は表やグラフにまとめ、聞き手が見て直ぐに理解できるようにする。
- ・ データの解析から実験で導き出された物理現象を説明する。
- ・ まとめを簡潔にする。
- ・ 発表は全員が分担を決めて行い、時間を厳守する。
- ・ 発表後に質疑応答を行う。ここで、不明瞭な点や説明不足な点が明らかになれば、補足する。

最後に、担当教員は、測定方法が的確であったのか、測定項目が十分であったのか、解析や考察は的確であるのか、などの講評を行う。

(7) 報告書の作成

成果発表で指摘された後に、不足していた測定項目、異なっていた解析や解釈などについて班で再検討する。測定が不足していた部分については追実験を行い、測定値に疑問がある場合は再測定を行い、解析が不十分である場合は解析方法を考える。測定結果が揃ったら、指定の報告書用紙（A3 版両面用紙1枚）にまとめる。書式は自由であるが、題目、目的、原理、実験方法、結果と解析、まとめが明瞭に記載されていることが必須である。

(8) アンケートによる実践教育の把握

報告書提出後にアンケートを実施し、実践教育の現状把握と今後の改善を図るため以下の8項目とした。

- Q1. この課題で難しかったことは何ですか？
- Q2. グループ内での討論は出来ましたか？
- Q3. 時間配分は上手く出来ましたか？
- Q4. 今回、どの項目に時間を要しましたか？
- Q5. 発表を行って気づいたことは何ですか？
- Q6. この課題で得たものは何ですか？
- Q7. この経験が将来役に立つと思いますか？
- Q8. 今回の創造的実践実習は、将来教員になった場合を想定し、有益であることについて感想を記載して下さい。

§ 3. 実践結果

摩擦実験のために用意された物品は、木片（フック付）、ばね秤、滑車、おもり、たこ紐、メジャー等である。その他、実験室で保管している物品は全て使用可能とした。また、実験条件として、2種類以上の実験手法で実施することを提示した。これは、グループ討論によって物理現象を1面から検討するのではなく、多角的視点で知識を育成するためである。学生が実験を推進するために創意工夫した内容を下記に示す。

(1) 力の測定に見られた工夫

木片に糸を掛けて引っ張り、その時の力の大きさを測定して摩擦係数を求めるが、その測定方法で工夫された幾つかの点について列記する。

- ①滑車を使ってばね秤を水平にして既知の錘を測定した場合、錘の質量と異なる値になった。今回のばね秤は図1aに示すようにばねの目盛が垂直に下がった自然長さの状態を基準にして測定しなければならないことに気づいた。そこで、正しく力の大きさを測定するには、滑車を利用してばね秤を垂直方向で測定する工夫がなされた。これは、ばね秤の使用条件が限定されているため、その条件を十分に把握することができた証である。
- ②また、他の班では、既知の重さの錘を吊り下げて、力の大きさを測定した場合、錘の質量と異なる値になった。これば、錘が垂直に下がっていないために正しい値とならないことに気付いた。そこで、錘を糸で吊り下げて垂直になるように注意して実施した。
- ③錘を複数吊す測定をした班では、錘を吊り下げる金属製フックを使用した。図1bに示すように50～200gの錘にはU形の溝が作られており、フック（130g）に錘を重積して、引っ張る力を変化させ、重力方向での測定を可能にした。
- ④他の班では、重さをもっと小刻みに測るために上皿天秤の錘を活用した。しかし複数の錘を吊り下げると全ての錘が垂直方向になるとは限らないため図1cの様に袋に錘を収めて吊り下げる方法を考えて実施した。

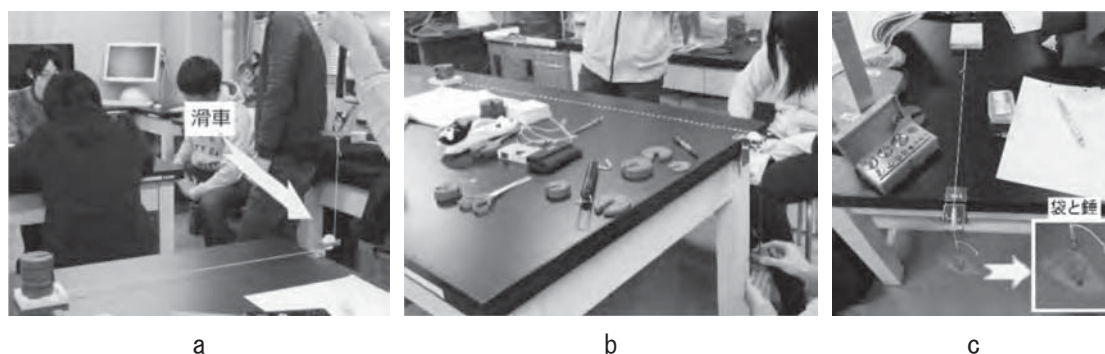


図1 力の大きさの測り方の工夫例

(2) 木片を引っ張る時の工夫

木片を引っ張る時の力の測定では、木片の下地等の実験条件を変えてデータを取得して比較すると摩擦の挙動について理解することが容易になる。実験条件の設定で工夫された幾つかの点について列記する。

- ①幾つかの班が、摩擦力は接触面積に影響を受けるのかという疑問を持った。しかし、木片の大きさはどれもほぼ同じであった。そこで、下地（机など）との接触面積を変化させるため、木片の様々な面を使って測定を行った。更に、図1aに示した班では、板の片面に凹凸を付けて接触面積を減少させた工夫を行った。
- ②図2の班では、2枚の木片を使って面積を2倍にする事を考えた。まず、図2aの様に木片を並列に繋ぎ、

両方に同じ重さの錘を1個載せて引っ張った。次に、図2bの様に2枚の木片を直列に繋ぎ同様の測定を行った。これは、同じ木片の面積であっても並列あるいは直列にして引っ張った時の違いがあるのかを確認したものであった。更に、図2cの様に木片1枚分の面積と比較するため、木片を2枚重ねた上に錘を2個重ねて引っ張った。これは、全質量を一致させた時の工夫であった。

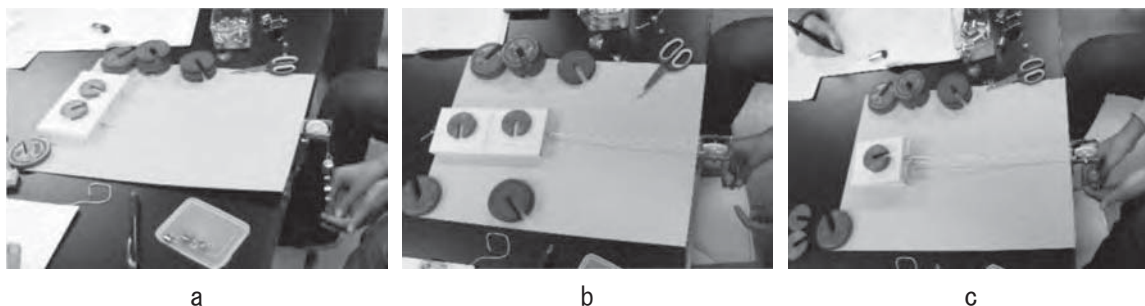


図2 2枚の木片を用いた時の測り方の工夫例

③図3aの班では、木片は下地の材質によって摩擦力が変化するのではないかと考えた。そこで図3aの様に下地に木板、アクリル板、紙やすりなどを敷いて測定を行った。これは、木片との接面状態が材質によって顕著に異なるため、摩擦力の影響を把握するための簡便な方策としては有用であった。

④一方、図3bの班では、垂直抗力を変化させるために、斜面上に木片を載せて引っ張り、斜面の高さを変化させて傾斜角依存性について測定を行った。本実験の特徴は、多くの班において木片にはたらく垂直抗力を変化させる方策として、木片に錘を載せるだけであったが、傾斜角依存性について検討しようとする工夫が重視された。

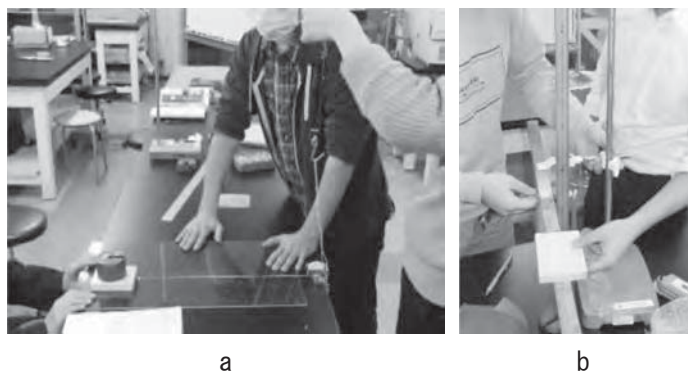


図3 測定条件を変える工夫

(3) 成果発表と質疑応答

グループ討論で得られた成果をホワイトボード1枚に要領よくまとめ、発表した。特に、図4aおよびbに示すように装置は略図で簡潔に描き、データは表にまとめ、グラフは明瞭に描くかグラフ用紙に描かれたものを提示する方法で行った。

また、図4bでは、質量と最大摩擦力が比例した測定結果のグラフを用いて、未知試料の質量を求める応用例に挑戦した。ここでは、質量が未知な物体（金属線のロール塊）を木片に載せ、その最大摩擦力を測定し、得られていたグラフから、その物体の質量を求めた。結果は、実際の質量と誤差範囲内で一致し、摩擦力から質量を求めることが出来た。

発表終了の後に質疑応答が行われ、測定結果が物理法則と矛盾していないか等について討論がなされ、矛盾点についての解決策が導かれた。下地を変えて測定を行ったグループ（図3a）では、摩擦力は下地との接面の状態によって変化するが、表面が滑らかなアクリル板に載せて測定を行った場合の方が机面で行ったよりも摩擦係数値が大きくなるという結果になった。その原因について討論した結果、アクリル板の表面の平坦度は高いが湿度などによる木片のそりや、木片と底面との組み合わせによる摩擦が影響したのではないかという結論に至った。これを防ぐには、木片の表面を平面研磨して一様に滑らかにしておく

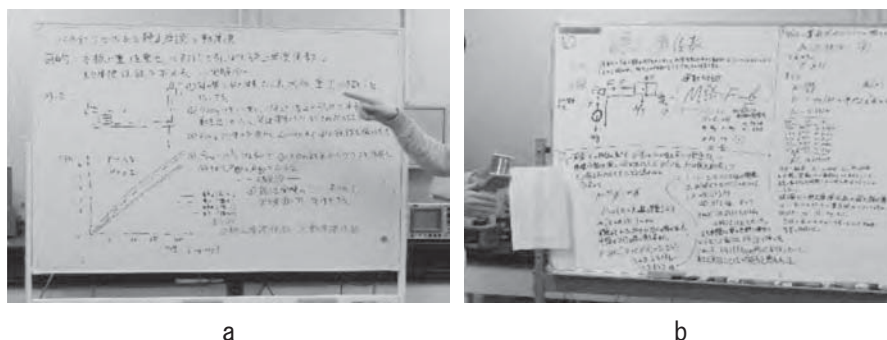


図4 発表と質疑応答の様子

などの対策が必要であると考えた。

(4) 講評の内容

この課題からは、最大摩擦や動摩擦を求めることが可能であるが、今回は最大摩擦についての議論が多く、その中でも、下地との接地面積との関連性、質量との関係性、接地面との密着性を示したものが主であった。

木片を引っ張る力を徐々に大きくした場合、木片が静止している条件では摩擦力は引っ張る力と釣り合っているので、徐々に摩擦力は上昇するはずである。この釣り合いの限界が最大摩擦力となるが、この過程を克明に解析しているグループは少なかった。また、最大摩擦を超えると、力の大きさが急激に低下し、動摩擦に移行することで一定の値となる。この現象を測定中には必ず体験しているため、挙動の詳細を把握することで摩擦実験の全容を解明することが可能となる。今回、実験時間の制限からと思われるが、静止摩擦に特化したグループもあった。このため、実験企画には物理知識のさらなる蓄積と実践体験の両方が重要であることが示された。

§ 4. アンケート結果と考察

アンケートの結果を以下に示す。特に、グループ討論による学生の意識変化に注目した。

Q1. この課題で難しかったことは何ですか？

「難しかった事」への回答を図5aに示す。「測定方法を考える事」が最も難しく、「物理内容の理解」と「内容が伝わるよう発表する事」の順であった。

物体の摩擦現象を測定するには、摩擦に関する物理内容をしっかり理解していなければ測定方法の検討が困難である事が再認識された内容であった。その反面、測定方法や目標が定まった後は、装置の組み立てや測定が容易に出来たことが示された。また、得られた成果をどの様に分かり易く伝達するかについて、真剣にグループ討論した様子が伝わってきた。

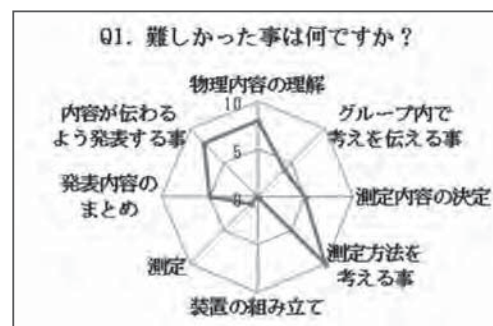


図5a 「難しかった事」への回答

Q2. グループ内での討論は出来ましたか？

「グループ内での討論」への回答を図 5b に示す。「十分だった」は 40%、「不十分だった」が 33% でグループでの討論に差があったと考えられる。特に、不十分であったと回答した班では測定方法の決定や発表の方法など、様々な課題について討論をする必要があり、全ての項目に十分な時間が取れなかった事が要因である。

Q3. 時間配分は上手く出来ましたか？

「時間配分は出来たか」への回答を図 5c に示す。「上手く出来なかった」と感じた学生が 60% となり、「上手くできた」と感じた学生は 7% であった。多くの学生は上手く出来ていなかったと考えている。そこで、何故そのような結果になったのかを次の Q4 で確認した。

Q4. 今回、どの項目に時間を要しましたか？

「どの項目に時間を要したか」への回答を図 5d に示す。課題は当日に公表しているため、学生の 25% が「測定方法の決定」に最も多く費やし、摩擦に関する調査などで「知識の確認」には 21%、「装置の組み立て」に 18% の時間を要した。測定開始までに多くの時間を要したことを示している。「測定」は 14% で順調に行われたが、「発表の準備」と「報告書作成」はそれぞれ 11% と短時間となり、解析や整理する時間の割合を増やす工夫が必要と考えられる。例えば、事前に課題の公表を行うことで“測定方法の決定”と“関連知識”の調査を準備させる事によって、当日の時間配分を有効に生かせる体制構築が今後の課題である。

Q5. 発表を行って気づいたことは何ですか？

「発表で気づいたこと」への回答を図 5e に示す。発表での質疑応答などから「測定方法の改良点」と「測定精度向上の必要性」を充実したいと考えている学生が多いことが明らかになった。これは、物理現象を説明するにはどのような測定が必要であるのかを真剣に考えなければならないと実感した結果であると考えられる。また、データの再現性を確認するため、多くのグループが複数回の測定を行っているが、もっと詳細な測定間隔での解析が必要であったと実感しており、「測定値の不足」を挙げた。さらに、「装置の改良点」、「知識の不足」も挙げており、これらの改善も必要である。

Q6. この課題で得たものは何ですか？

「この課題で得たもの」への回答を図 5f に示す。この課題を体験したことにより、「物理の知識」を得

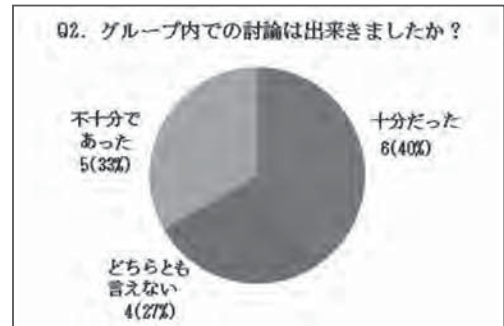


図 5b 「グループ内での討論」への回答

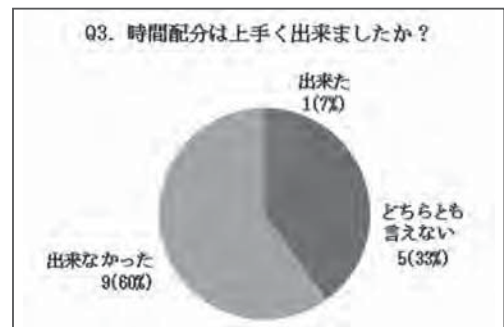


図 5c 「時間配分はできたか」への回答



図 5d 「どの項目に時間を要したか」への回答

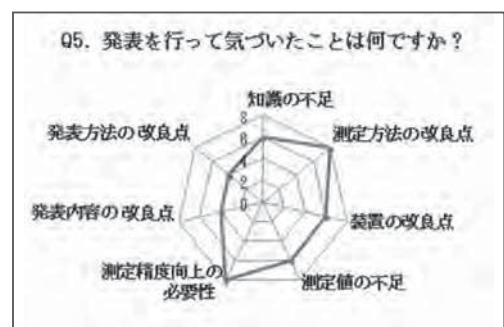


図 5e 「発表で気付いたこと」への回答

たという回答が最も多かった。学生は「摩擦」に関してある程度の知識は持っているはずであるが、実際に測定方法を考え、測定して発表を行うことによって、物理現象をより深く理解する事ができたと考えられる。また、自から測定装置を作製する事により創造性が養われたと考えられる。

Q7. この経験が将来役立つと思いますか？

「この経験が将来役立つ」への回答を図 5g に示す。「役立つ」との回答は無く、「授業での教え方に役立つ」との回答が半数を占めた。これは、実際に自分で実験内容を考え、装置を組み立てた事によって、内容の理解がより深くなった事を示しており、「教材の開発に役立つ」は 32% が回答し、「生徒とのコミュニケーションに役立つ」も含めると教員を目指す学生には大変有効な教育であった。この経験を活かし、生徒への授業では様々なアプローチができる可能性を示していると考えられる。

Q8. 今回の創造的実践実習は、将来教員になった場合を想定し、有益であることについて感想を記載して下さい。

- ・「自ら創る事で自身もより深い理解を得られた」、「自分で作ると一から理解しているので伝えやすいし、興味を引くものを作りやすい」という学生の記述から、測定方法の考案や装置を自作することにより、教師になった立場での理解度、生徒へ教える方策や教育効果を実感できたと考えられるようになった。
- ・「生徒にわかりやすく教えるために、五感を使い、その感覚を確かめることが必要だということがわかりました」、「教員になったとき、実験方法はなるべく体感できる操作を取り入れたいと思った」などの学生の記述から、自主実験を経験する事により、科学は身近なものである事を再認識し、生徒により興味を持ってもらえる方策を考えるようになった。
- ・「どのようにしたら伝わるのか、理解させることができるのかをもっと考えていきたい」、「人に伝わる伝え方が課題だと感じた」などの学生の記述から、教授法について真剣に考えるようになった。

以上のように、実践教育によって学生の意識に変化が起きていることが分かった。将来教員となったとき、具体的な課題に向かっての実験手法の確立、解析、成果発表が一貫して構築可能な体験ができたことと教授法についても考えることができ、実践教育の有用性を示す成果が得られた。

§ 5. まとめ

今回の実践的グループ討論の課題は、既定の実験課題を 10 項目経験し、物理の基礎実験内容を理解した後の最終授業で実施した。しかし、物理実験に関する経験が豊富であるとは言いが、簡単な課題には対応できるまで修得したと考えている。

今回の課題では、グループ内での物理に関する知識の差異による意見の統一に多くの時間が割かれた。効率性を向上させるため、前週にテーマを提示し、予習時間を与えていれば、測定や発表の時間が十分取れたと考えられる。一方、限られた時間内に準備・実践を行う経験も必要であると考えられる。また、この課題の目標は十分に完成した成果を挙げる事のみではなく、限られた条件の中でどの様にして課題を進めなければならないかを学ぶ事でもある。

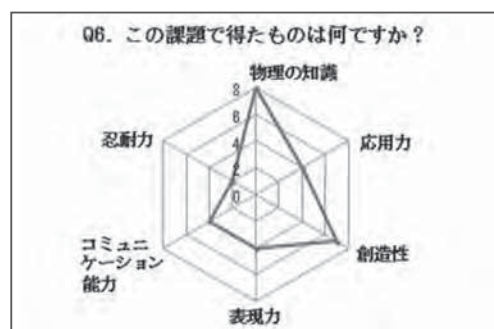


図 5f 「この課題で得たもの」への回答

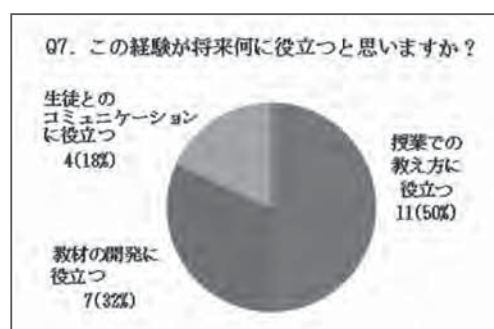


図 5g 「この経験が将来役立つ」への回答

今回の実践教育の成果として、限られた時間内に一つの物理現象に対して、測定・解析を行い、理解を深める事ができた。この経験は、将来教員として活躍する場合の基礎演習および未知課題を成し遂げた時の充実感が自信へと繋がる事と考えている。また、これと同時に自分の不足している知識等を確認でき、実習を行うときの手順や考え方を認識する機会になったと考えられる。特に、発表での質疑応答において自己知識の把握状態を理解することの重要性、実験の手段や正確性、有効な表現の方法などを修得することができた。

今回の創造的実践実習課題は既定の実験課題を修得した知識を基盤として最終日の1コマ（3時間）に挿入することで、実現できたものである。この取り組みは、教員を目指す学生には大変有益な実践教育であり、教職カリキュラムでの一考になってくれれば幸いである。

§ 参考文献

- 1) 東京理科大学理学部第2部物理学教室編、物理実験入門編、内田老鶴圃、2016年発行
東京理科大学理学部第2部物理学教室編、物理実験基礎編、内田老鶴圃、2009年発行
- 2) 中井浩二、実験の作法と安全、吉岡出版

