

1. 授業の基本情報・概要

本授業科目「物理基礎」（2年前期）は、中学校及び高等学校の理科の免許取得に必要な必修科目である。受講者の約半数は、高校物理基礎の未修者、あるいは物理の知識に自信がなく、苦手意識がある。

2023年度の受講者は15人であり、そのうち1人は法文学部の学生であった。そして「物理入門」（1年前期）を現2回生は受講していないため、初歩・入門的な内容も含め、授業を計画し実施した。

4月下旬に1人の学生から個別指導の希望があり、4月末の金曜2限に教員研究室で行った。高校物理基礎が未習であり「授業内容の本質、すなわち物理学という学問そのものが分からない」ということで、次の内容を話した。

リベラルアーツ・学問としての物理学について、「物理学とは何をするのか？」・物理学で言う「正しいとはどういうことか？」を中心に、その学生の体験してきた身近な事例、理論と実験、科学概念（ものの見方考え方）、学校教育（小中学校理科）の問題点など、その学生の志向・学力をふまえ、具体的に説明した。

私は、その個別指導で得た知見と、受講者全員の出席カード等の提出物の記述内容を分析し、2023年度の受講者の特質に合うように授業内容を変更した。

微分積分による公式導出の計算は、中学校理科・高校物理基礎で学ぶ公式の適用条件の理解には必要であり、例年通り使用した。そして、授業での運動方程式を解く際の高等数学の使用は最小限にした。試験では四則計算のみを行う計算問題と説明問題を出題し、試験問題の大半は授業の板書や説明、宿題のレポート通りを書けば正答になるものにした。

2. 授業評価・授業研究の内容

2-1 授業の工夫

最初の課題は受講登録後（4月上旬）に出題される。この課題は主に中学校の内容から出題し、高校に接続可能な状態で理解できているか、すなわち既得知識を確認し、授業内容を調整する。たとえば、自動車を例にとった計算問題では、 $\text{距離} \div \text{時間} = \text{速さ}$ 、 $\text{質量} \times \text{速さ}^2 \div 2 = \text{運動エネルギー}$ 、 $\text{質量} \times \text{加速度} = \text{力}$ 、距離と時間から加速度を求めるなど、インターネットで公式を見つければ正解可能なものであり、高校物理基礎の未修者にも解答可能である。それに加え、平均速度に関する少し高度な思考を伴う説明問題も合わせて課題とした。

第1回の授業では、小テストを用いた導入授業を行った。ニュートン力学を用いて、速度・加速度と力とを関連付け、主に中学校の学習内容「物体に力が働くと運動の様子が変わる」・「力のつり合い・作用と反作用」など、学問と学習内容の間の齟齬に起因する「物理の学習時に感じる“迷い”」を体験させた。たとえば、重力の大きさ、作用反作用の力、摩擦力、外力と内力、空気抵抗、力のつり合い、等速直線運動と等速円運動など、2種類の問い方で考えさせた。

その小テストの答案を見ると、素朴概念・誤概念に寄り添った因果関係の説明を付けた問い方では、ほぼ全ての受講者が間違っている説明文を正しいと思い込み、誤答を「正しい」と判断することが分かった。そこで、宿題として、小テストの解き直しレポートを課した。

例年のように、提出されたレポートは類似したレポートごとに振り分け、教員からの支援の必要な個人またはグループを見極める。今年度の2回生は、中等理科を中心とする正答の多いグループと、小サブ数人の誤答の多いグループに

分かれたため、一旦は後者に対応した授業を試みた。しかし、前者のグループの1人に行った個別指導「物理学という学問について」の知見により、レポートが正答であっても理解できている訳ではないことが分かった。そこで、たとえ授業の進行が遅れても、教員養成の必修の授業としてきちんと「基本の概念」を教えることが重要であると考え、三角関数や指数関数の微分積分を可能な限り外して、法則と概念を中心とする授業に大幅変更して実施した。

2-2 試験の結果

試験の「平均正答率±標準偏差」は、

問 1（等加速度直線運動、自動車の減速、説明問題と計算問題）

①19%±23%、②68%±35%、③43%±29%、

問 2（剛体のつり合い、2人綱引き、説明問題）

①55%±35%、②32%±6%、③30%±40%、

④38%±40%、

問 3（等速円運動、静止衛星、説明問題）

49%±46%、

問 4（等加速度直線運動、台車を押して箱を運ぶ、計算問題）

46%±46%

問 5（等加速度運動、水平面上と斜面上で運動する台車、説明問題と計算問題）

①0%±0%、②54%±43%、③51%±40%

であった。ここで、平均正答率には部分正答も含めて計算している。

2-3 授業と試験の振り返り

次年度に向けての授業改善に資するため、「正答率が低く、かつ標準偏差が小さい」、すなわち受講者全体として理解できていない小問を3つあげ、その問題で問われている知識・技能について分析していく。

まず、問 5①では、正解者がいない。「運動量の変化＝力積」の説明問題であり、中学校の学習内容「力が働くと運動の様子が変わる」を高校物理基礎の計算問題の状況で問うた。正答の

説明は、試験直前の授業時に作図を用いた板書によって説明したものであり、受講生の中には出席カードに重要点として書いている人もいた。このことは、たとえ授業そのままの問題を試験で出しても、中学校理科の学習内容の誤解（思い込み、誤概念）があれば、科学概念を理解できないことを示唆している。

次に、問 2②である。問 2 は「提出不要の宿題」として出した問題と同一の式を立て、同一の式と計算で正解を導くことができるため、①、③、④についてはほぼ正答できている。しかし、②は標準偏差が 6%と小さく、受講者の正答率は 1 人を除き、一律 33%である。②の問いは、力のつり合いの関係にある力を指摘し、「力の名称」、「力の作用点」、「力の向き」を答える問題である。全員が「作用反作用の関係にある力」を答えていたため、「力の向き」だけ正解になった。このことも、たとえ授業そのままの問題を試験で出しても、中学校理科の学習内容の誤解（思い込み、誤概念）があれば、科学概念を理解できないことを示している。

3 つめは、平均正答率 19%の問 1①である。「急ブレーキをかけて減速しても、自動車は急に止まることができない」理由をニュートンの運動の 3 法則で説明する問題である。正答は授業の中で「運動方程式」で説明した「慣性質量が大きいから、加速度が小さい（運動の様子が変わりにくい）」である。しかし、その説明は一部の学生には忘れ去られ、質量の大小とは無関係な「慣性の法則」を使い、典型的な誤答「力が働かないとき、…」を書く。このことも、たとえ授業そのままの問題を試験で出しても、思い込み（誤概念）があれば、科学概念を理解できないことを示している。

最後に、小問の大半が高校物理基礎の水準の簡単な問いであるため、合格者（単位取得者）が多くいるのは当然である。しかし、この簡単かつ低い水準の試験であっても、受講者の大多数が不合格になった事例が 2016 年度にあり、2017 年度の FD 報告書で詳しく説明している。

2-4 アンケートの結果

本科目での学びの状況を、受講者はどのように自覚し、振り返りをしているか。試験直前の授業終了時に「出席カード」に書いていただいた「授業全体の感想」の記述をもとに、合格者（単位取得者）と不合格者に分けて、考察する。

まず、合格者（単位取得者）は、文字数が多い傾向にある。授業全体にわたる感想が述べられ、自分なりに課題意識をもって授業に取り組んでいることが読み取れる。そして、次週の試験に関する記述でも、理解できていない点を指摘し、具体的に何を勉強すべきか、明確になっている。特記すべきこととして、当日の授業で扱った「例題5」（試験、問5①～③に関連する問題演習）は、出題予告をしていないにも関わらず、彼ら/彼女らにはきちんと「重要点」として伝わっている。

一方、不合格者は、見た目に文字数が少ない傾向にあり、当日の授業内容に限定して感想が述べられている。試験に関しても、漠然としか書かれていない。そして、「例題5」に関する具体的な記述も無い。

これらの感想から、高校物理基礎の重要点は、きちんと「重要点」として受講者に伝わる授業が行えていたことが分かる。そして、その理解の前提となる科学概念の重要性も、一部の受講者には、きちんと伝わっていた。

最後に、本科目の授業の様子が分かると思われるので、表1に試験で平均点を超えた受講者の感想を抜粋して紹介する。

表1 合格者（単位取得者）の感想

今回の講義ではエネルギーに関する知識と計算のスキルを手に入れることができた。例題5では等加速度運動ともつなげて考えることができたのでとても面白く考えることができた。どこが未知量か？ということを考える際に重要になってくるのは立式部分であると感じた。テストでは立式の正確さを心がけて取り組んでいきたいと感じている。

物理を初めて本格的に触れたが、自分が思っていたよりもおもしろくて、高校時代に毛嫌いしていたことに気づいた。「何がわからないのか分からない」という点が物理では起きやすいことを、授業を受ける側になって改めて体感することができた。自分の頭を整理する方法をもっと模索したい。（注、問5①の正答の図が出席カードに書かれている）

高校生のときに授業を真剣に聞いても物理が理解できず、なぜ自分が理解できないのか全く分からなかった。大学生になり、この講義を受けたときに誤概念を持っていると分かって驚いた。様々な方向から見て考えていたので概念が“ごちゃごちゃ”になってしまったので、問題をたくさん解こうとする前に、考え方を正さなければならないことが分かった。考え方を変えることは難しいことだと思うけれど、前期の間に少し考え方を直すことができたと思う。これからは計算ができるようになりたいと思った。

全体として、高校のとき物理をしていたけれども、式をたてる前の概念のところはあまり分かっていない部分も多かったので、誤概念だったものを正しく理解できるようになったと思う。また、式だけでなく、グラフや図を用いても説明できるよう、試験までに復習したい。

物理基礎の授業を受けてきて、高校のときにはあまり習ってこなかった微積の応用であったり、位置エネルギーはグラフのどこの部分のことなのかだったり、様々なことを新しく学ぶことができた。また自分の中で解決していない疑問もあるため、自分でも詳しく調べてみようと思う。

今日は斜面をすべりおちるやつを自分で勉強していたので、まあまあ言っていることは理解できた。しかし、まだ $\sin \theta$ を残したままで終わったりするので、しっかりキレイな形にまで、できるようにしたい。式を立てるときに、力の抜け・もれがないようにしたい。（注、「自分で勉強」＝「例題5を予習」）

3. 地域社会を核とした教育と研究のつながり

FD 報告書の提出は今回が最後になるため、1990 年度からの担当科目のうち過去に FD 報告書を提出した授業について、本学部の教員養成という社会的責任ある立場に関連させ総括する。

3-1 物理基礎、(旧)物理学 I

1990 年度から 2001 年度、2009 年度から（現在に至る）担当した必修科目であり、主に個別指導で知見を得て、改善してきた科目である。

当初は理学部物理学の内容で授業を作った。しかし、学生間の物理の知識差が大きいため、授業は進めない。教育学部生に合った内容と水準にするまで 10 年かかった。その知見は「教員養成のあり方懇談会」の委員であった学部長 Ki 氏に依頼され、De 氏と共に「教育学部の物理の授業は理学部と違う」理由を文書で提出した。

このことをふまえ 2001 年度まで授業を行ってきたが、Ka 氏により中断を余儀なくされた。この中断の影響は、提出済の FD 報告書でも述べたが、3-3 節でまとめる。

本科目を受講する際に重要なことは、“学ぶ心”であり、理科専修以外の学生にはその心があるため、合格率が理科専修より高い傾向にある。

教訓としてまとめると、授業を“単純作業”と勘違いしている一部の学生が存在する。そのような学生の意見を無批判に支持し、2017 年 5 月の事例のように「授業が悪い」と一方的に断定するのは不適切である。複数の証拠「提出済の FD 報告書」・「採点済みの答案」を確認し、単位取得した学生などの第三者の意見も聴取し、匿名の教員からの“半年遅れ”の苦情に対し、学部長として「その件は 2016 年度前期のことであり、2016 年度後期に対応し、その成果を生かし改善された授業が 2017 年度前期に行われている」と苦情を強くはねのけるべきである。なぜ“半年遅れ”か、合格者の卒業まで待ったのか、それとも…か。そのとき、1989 年からずっと感じてきた職場の“闇”に怯えたが、転勤された Ta 氏、U 氏、亡くなられた Si 氏からの助言を思い出した。

3-2 物理入門、(旧)基礎理科

前節 3-1 の授業では、高校物理未修者が多く、どうしても時間が足りない。そこで、同様の悩みをもつ化学の Tak 氏と 7 コマずつ担当し、理科免許の単位にならない「(旧)基礎理科」を 1 年前期に開講した。この科目は、Tak 氏の退職後、私 1 人で物理分野の授業を行った。この科目は「物理入門」として 2024 年度まで開講される。

当初は、速度・加速度を中心に授業を行った。中学校の内容「運動の様子が変わる」を理解させるためである。記憶にあるだけでも、国語、社会、数学、英語、音楽、美術、幼児、技術、家政、教育、心理に所属する学生が受講した。物理の苦手な人・得意な人と様々であった。理科専修以外の受講者の教採現役合格率が高い傾向にあることに、就職委員の時に気付いた。

ところで、本科目の受講者の“学ぶ心”に問題がある年度が過去 2 回あった。1 回目は 2014 年度であり、2 回目は 2019 年度である。

2014 年度は、「履修取消」を希望した学生が多く、取り消した人が理科専修へ来た。それで何が起こったかは、FD 報告書で報告済みである。

2019 年度は、中等理科数人が最後列に集まって座り、「黒板の文字が小さくて読めない」と不当な苦情を言った。当然、その年の中等理科の単位取得者は減った。そのことで、2014 年度入学生と同じことが起きそうで不安があった。その不安は、2020 年度の物理基礎で、中等理科の 3 人が「不可」になるという現実になった。

私は 3 人の答案を分析し、第 1 章で述べた 4 月末の個別指導で行った話を、彼/彼女の状況に合わせて行った。そのこともあり、3 回生時に 2 人、4 回生時に 1 人、物理基礎の単位を取った。4 回生の 1 人は全体で 2 位と高得点であり、どんな勉強をしたのか尋ねた。すると「教採に向けて勉強したら、分かるようになった」と答えた。このことから、“学ぶ心”の重要性を確認できる。

この個別指導の話は、再履修の中等理科の数人にも行ったことがある。しかし、再履修を繰り返すため、「暖簾に腕押し」の感がある。

3-3 (旧)物理学Ⅱ

2002年度から2008年度の7年間担当した科目である。FD報告書で述べたが、Ka氏が担当した(旧)物理学Ⅰの補講から行う必要に迫られた。そのため一度もシラバス通りに進まなかった。

当時の(旧)物理学Ⅰでは、微分積分を使った授業がなされ、毎年数人が「分からない」と言い、私に質問した。図や絵を書きながら説明したところ、彼ら/彼女らは真剣に書き写した。その付近にいた学生までも集まってきて書き写すという異様な光景のため、理由を尋ねた。すると、図や絵の無い授業が行われ、全く分からなかったそうであった。そして、試験では、高校水準の出題問題を配布し、質問に来た学生だけに正解と解法を教え、同じ問題で試験がなされた。要領のよい学生は、「どうせ分からない」・「試験に出ない」と授業を聴かないで、友人から試験の正解と解法を得て、丸暗記して合格した。

私が指導した卒業研究生は当時、Ka氏から「優秀な学生」と褒められた。しかし、教採対策として、彼には卒業研究の半分を力学の補習に当て、それでもなお、他大学の大学院受験では「物理の問題は選択するな」と助言した。彼は教採に落ち、出身県の大学院へと進学した。

3-4 物理学演習Ⅰ

物理学演習Ⅰは、相対性理論など授業科目にない分野の学問や探究活動に当てたかった。しかし、前節で述べた(旧)物理学Ⅰのこともあり、「知識と学力を付けたい」という学生のニーズに応えるため、大学の授業の補習、教採の対策など、学力アップのテーマも行ってきた。

印象強く記憶に残っているテーマは、探究活動であり、紙工作実験、ILDsである。

紙工作実験では、「物理の勉強とは人生で一切無縁である」かもしれない学生も受講した。彼女ら/彼らの感想は「楽しそうだから受講した」・「物理を勉強する気は全然なかった」・「しかし気が付いたら、普通に物理の思考をしていた」・「考えることが楽しかった」であった。

一方ILDsでは、斜面を下る円筒の運動について激しい議論があった。「エネルギーで考えるべき」・「運動方程式で考えるべき」と2人は主張を譲らない。それを見ていた1人は、スマホで調べ、割って入ろうとすると、2人に「黙れ!」と一喝された。もう1人は、静観する私の出方を窺っていた。私は「2人の主張はどちらも正しい、加速度の実験結果を説明できる」・「主張を曲げないで、各自で式を立て、…」と助言した。

これらのテーマでは、学生にクリティカルシンキングをさせる。数年前に気付いたことであるが、物理教育研究でいう「チュートリアル」、科学教育研究でいう「STEAM」につながることを、ずっと行ってきたのではないかと思う。

4. おわりに

私は今でも、教員間の教育観の違い、学生の実験に対する認識の違いに、悩まされている。

1989年の着任直後にDe氏から「考えさせる実験に変えてくれ」と依頼された。私は、既存の装置で可能な12テーマを選び、(旧)基礎物理学実験を「考えさせる実験」として4コマ分の課題を作り、半分の2コマ分を実験書にまとめ、その内容を物理教育学会と物理学会で発表した。

実験を「体験」と指導すれば、「実験は単純作業」・「同級生からコツを聞けば早く終わる」・「終わったらすぐ帰れる」という学習観が助長される。そして「遅刻しても時間内に課題はこなせる」と判断し、平気で遅刻できるのかも。

かつて、実験を「思考無しの単純作業」として行う「つまみ屋」、「目盛り屋」と揶揄された学生たちがいた。彼ら/彼女らは、実験書を読みながら、つまみを回し、目盛りを読み、数値を記録したら、たとえ授業時間が残っていても、与えられた式に代入して値を出すことなく帰る。「思考無し」が2023年度にとうとう現れた。

「遅刻厳禁」は当然のこと。遅刻をされた教員も「振り返り」をすべきである。他専修の学生の特性を知ると、「受講する価値を見出せない」実験の方にも、何か問題があるのではないか。