

基礎物理工学（電磁気学）¹

YPRL 山田弘明

(2010年8月10日作成)

2010年度の基礎物理工学を担当し、これに関して気付いた点などのメモを整理し、学科長や幾人か人に送った。どこまで一般的に言えることかわからないが、何か参考になることもあると思うので改めてここに記しておきます。

1 はじめに

2010年度工学部化学システム工学科の2年生対象に開講されている基礎物理工学（電磁気学）を担当した。いわゆる「ゆとり世代」の学生だが、講義の内容の工夫だけでは補いきれない制度の問題やカリキュラムの問題を強く感じたのでここにメモしておく。シラバスを書いた2009年秋の時点では、化学システム工学科の2年生の電磁気学というイメージ以外は特に意識はしていなかった。定員90人ということはその学年の殆どの学生が聴講かもしれないと漠然と思っていた。しかし、物理や数学は苦手だという化学系の学生が多いのは知っていたので、60-70人が聴講を希望するであろうと予想した。実際は、3年生も含めると100人以上の聴講希望者がいたが、99人を聴講可とした。結果的に、これは大失敗であり聴講可能条件を明確にし、50-60人に絞るべきであった。²

2 高校理科・数学の履修状況

1回目の講義で行った学生へのアンケートなどの結果によると、高等学校で高校物理IIを履修しているものが7割（それ以外は履修していない）、自己申告による履修した学生の高校物理IIに対する理解度は3-4割程度であった。詳しくはアンケート結果を参照のこと。

高校履修資料 2.pdf, 高校履修資料 1.pdf 参照

講義前アンケート結果

関連する高校科目の自己申告による平均理解度次のようになった。

(物理 I 61.9 パーセント),(物理 II 38.6 パーセント),

(数学 I 79.4 パーセント),(数学 II 68.7 パーセント),(数学 III 54.3 パーセント)

¹化学システム工学科2年生向きである。

²[注] 以下で、このような点線(-----)で囲まれている部分は、資料を参照のこと。(組み込んだものもある。)

(数学 A 75.0 パーセント),(数学 B 65.6 パーセント),(数学 C 50.4 パーセント)

高校数学に対する自己申告による理解度は、高校 1 年時から 3 年時のものに行くほど下がり、数学 III、数学 C では 50 パーセント程度という結果であった。これらは自己申告によるものなので実際の理解度は 3-4 割というのがいいところであろう。

次に、1 年時の標準的カリキュラムを見ると、自然系共通専門基礎科目「基礎数理 A」や「基礎数理 AII」を履修し、力学の基礎である「物理学基礎 AI」(または同 BI)と「物理学基礎 BII」(または同 AII)を履修が指定されている。さらにリメディアル教育が行われている。数学の内容、物理学の「登録のための条件」は次のようになっている。

1 年次の自然系共通専門基礎科目

基礎数理 A (前期): 一変数関数の微分法と積分法

基礎数理 AII (後期): 多変数関数の微分法と積分法

物理学基礎 AI (前期): 初等関数(三角関数や指数関数など)の性質やそれらの微積分, ベクトルや複素数等について, 高等学校で学ぶ程度の知識を有することを前提とする. 高校物理を未履修の場合, もしくは, 数学的手法に深入りせずに広範な基本的概念の把握を目指す場合は, 「物理学基礎 BI」を受講されたい。

物理学基礎 BI (前期): 高校で, 三角関数やベクトル, 微積分などの数学を習得していることを前提とする。高校で物理を履修していることは前提としない。物理学基礎 BI と並行して同 AI が開講されるが, AI と比較し, BI では高校での物理の履修を前提とせずに基本的概念の把握を主な目標とし, 微積分を駆使した微分方程式の解法等には重点を置かない。それらの項目に興味をもつ学生は AI を受講されたい。

物理学基礎 BII (後期): 物理学基礎 BI の内容を把握し, 質点の力学に慣れていること. 物理学基礎 BII と並行して, 同 AII が開講されるが, BII では AII と比較し, 波動現象を講義する代わりに, 微積分を駆使した数学的記述には重点を置かない。

これらは、入学時の学生状況の多様性に合わせて 2 通りのタイプのコースを選択できるように構成されている。例えば、高校物理 II の履修をしていない学生や物理、数学が苦手な学生が「物理学基礎 BI」「物理学基礎 BII」を取り、比較的好きで得意な人が「物理学基礎 AI」「物理学基礎 AII」を聴講することができる。その点では良いのだが、これは 2 年時以降における現在の教育に大きな問題点を生じる基にもなり得る。それを次節で議論する。

3 多様性の増大とその対応

講義初めのアンケートの時点では、学生の1年時における詳しい履修状況を知らなかったため、大雑把に「大学でこれまで履修した物理、数学の内容は？」という形で訊いた。それによると、入学してすぐの1年時の前期は全員が標準的に、「基礎数理 A」を履修しているが後期の「基礎数理 AII」を履修していなかったり、聴講しても単位が取れなかったり、習得率が低い学生も多くいるようである。「物理学基礎」についても同様な事態が考えられる。ましてや物理、数学が苦手な学生が「物理学基礎 BII」を取り、途中放棄や低い習得率であるならば、「物理学基礎 A」を取っている学生と比較した物理や数学の学力の差は大きく拡大するに違いない。すなわち、入学時における多様な状況の学生に対応するカリキュラムはその多様性をさらに拡大し（物理、数学の学力ギャップ）はより多様化するわけである。このことは、暗記力でパスできないような試験をやることで確認できる。実際、今回の試験の「基礎物理学（電磁気学）」の定期試験の結果にもそれが現れていると解釈できる。

次に生じる大きな問題は、学生の数学・物理学における実力は入学時よりも多様化しているにもかかわらず、化学システム2年生（前年度不合格になった3年生も含む）の多くが「基礎物理学（電磁気学）」の聴講を希望することである。私の感覚では、現実的に大学2年生の電磁気学を聴講するにふさわしい学生は3 - 4割ではないかと思う。2010年度は講義の定員が90名なので実際100名近く受け入れたが、当初から下手をすると7割の学生には単位認定できない可能性を危惧していた。実際はかなりゆるやかな採点基準にしたため、約半数を合格にしてしまった。この問題で60点台での合格者は本来は落第である。この点と評価基準について Jabee 認定プログラムの科目であることの問題点を次節で論じる。

定期試験結果.pdf, 試験問題.pdf 参照

試験問題と結果

4 Jabee 対応カリキュラム

Jabee の主要な活動は、「高等教育機関で行なわれている教育活動の品質が満足すべきレベルにあること、また、その教育成果が技術者として活動するために必要な最低限度の知識や能力の養成に成功していることを認定することである」となっている。これは、講義内容の習得に関して、相対評価から絶対評価ににして単位取得者の品質を保証しようということだと理解できる。

その基準にたいして、毎年聴講者の一定割合が合格するとなれば、ずっと同レベルの学生が入学してくるという前提がなければ、非常に不自然なことになる。ましてや、「ゆとり世代」の学生が入学してきて品質が変わらないためには、並々ならぬ訓練をしなければならないはずである。「基礎物理学（電磁気学）」に関して言えば、1年時に、物理、数学が苦手な学生が十分な学習を少

しでも怠った場合、2年時の物理学についていくことは不可能である。極端に言えば、合格者がゼロということも大いにある得ることだ。

一つ重要な点は、暗記や記憶をいくらやっても、本質的な考え方を習得できなければ、物理学の教育内容を理解したと言えないことである。これは前述したように、記憶したものと異なる問題に解答できないということから、定期試験の答案を見れば容易にわかる。ちなみに、これをごまかすことは簡単だ。それなりのレベルの難しい問題であっても、一度講義や中間テストで行った問題と殆ど同じ問題を定期試験でも出題すれば、学生はそれなりに解答でき、Jabeeのために保管する答案も体裁は整うことになる。悪く言えば、これは「やらせ」のようなことになる。

もちろんこれでは、単位取得者の質は低くなる一方で、信用を失う。そもそも、Jabeeのために依頼されて書いた、講義担当者としての適格者としての歯の浮くような文章も滑稽なものになる。(下記囲み文章)

基礎物理工学（電磁気学）は工学部の基礎科目であり、専門科目を学び専門的問題を解決するために必須である。学生へのアンケートなどの結果によると、高等学校で高校物理 II を履修しているものが7割（それ以外は履修していない）、自己申告による履修した学生の物理 II に対する理解度は、3-4割程度である。つまり、高校での物理の履修を前提とした専門的講義は行えない。そのうえで、工学部化学システム工学科2年生における専門基礎科目としての電磁気学の講義を構築するには、高等学校を含めた高等教育に精通し、専門領域を超えた幅広い知識と教養が必要である。担当者は中学・高校の理科の教員免許を持ち、大学での基礎教育・専門教育の経験もある。

また、理論物理学をはじめ、化学物理や理論生物学（進化論、遺伝子制御理論）や環境物理学に関する研究を行っており、その成果を各分野の一流雑誌に数多く公表している。それらに関する研究成果を踏まえて、「応用」の部分のみに偏重されがちな工学部の講義において、より原理的な科学的視点と、環境問題、環境物理学、生体物理学とのかかわりから電磁気学をとらえ、学生に講義をする工夫をしている。従って、基礎物理工学（電磁気学）の担当者として適切である。

5 カリキュラムと講義内容の一例

次節で上記の事態の改善への提案をする。この節では、その前にカリキュラムにある其々の講義内容を、確実に習得していることがいかに重要であるかを、1 - 2年時のカリキュラムから、力学、電磁気学、熱力学、解析学にまたがるひとつの例を通してしておくことにする。

1年時で多変数関数の微分積分を「基礎数理 AII」で学んでいるので、多変数関数が完全微分形であることがどういう性質かを習得していなければならないはずである。同時に、「物理学基礎 AI」(力学)で、一番重要な概念のひとつ、保存力(ポテンシャル力)について習得している。当然、重力や万有引力などの力の場が2点間の経路によらない保存力であることも学んでいるはずである。

これらの概念があれば、「基礎物理工学」の電磁気学ででてくるクーロン力も保存力であるので、力学と全く同じタイプの計算ですぐにその性質を確認できる。数学的にはこれらの力の場の微分形式が完全微分であることと同等である。さらに、「基礎物理化学」で熱力学の第1法則（力学的エネルギー保存則）を学ぶのでそこででてくる Maxwell 関係式は、熱平衡状態のみで記述される状態量が仕事や熱と異なる完全微分であることを示している。すなわち、内部エネルギーが孤立系（断熱系）における仕事に関する全微分として導入されたのと全く同様にして、等温系における同様の量が存在することを認めれば、これがヘルムホルツ自由エネルギーである。力学において保存力の場とポテンシャル（位置エネルギー）の存在のための性質と等価であることがすぐわかる。

このように、実際に完全微分や保存力（ポテンシャル）に関する事項や概念は二重、三重に講義で登場するはずだが、それらが登場する全科目の単位を得ている学生ですらその関連性についての認識が全く欠けている可能性が大きい。実際、熱力学で Maxwell 関係式を学んでいることを確認してから、基礎物理工学（電磁気学）の講義中にこのことを話すと、多くに学生の印象は「電磁気学で何故、熱力学の話がでてくるのか」「余計な話をしている」と感じている様子であった。

また、電磁気学の基礎的部分は流体力学と通底する。ベクトル解析を使った電磁気学の定式化を理解することは、「移動論基礎」「移動現象論」「个体化学」「伝熱工学」などの講義の基になるも明らかである。

6 解決策

既に議論したように、1年時に微分積分を使わない力学を取り、多変数関数の微分積分の講義をサボった学生が2年時になった時、その物理・数学に関する学力や知識は入学時よりも低下している可能性すらある。つまり、1年時に毎日苦手科目、未習得科目（高校物理 II や数学 III など）に関するより多くの訓練をし、かつ既習得者と同様な科目（物理学基礎 A など）も並行して履修して初めてそのギャップが埋まる可能性がある。それができなければ、1年時に多様な学生に向けた選択制はより多様性を拡大し、2年時にも多様なカリキュラムを用意できなければ教育効果が出ないことになる。

この節で上記の事態の改善への提案をする。ひとつはすぐに実行可能な「カリキュラムの構成」の改善である。これを改善すれば基礎物理工学の聴講の問題は解決するであろう。もうひとつは、議論に多少時間がかかるが「専任教育コーディネータ」の設置である。これにより、大きく教育環境を改善できると思う。これらを以下に議論しておく。

6.1 カリキュラムの構成

講義中においては、不正出欠、私語、も比較的多かった。また、定期試験では不正行為未遂もあった。これらも状況の異なる 100 人の学生を 1 クラスにしての基礎科目の講義を行ったことの弊害といえる。

「基礎物理工学（電磁気学）」を少しでも効果的に学生に習得させるために、次のことを考えていくべきだと思う。

1. 基礎物理工学（電磁気学）」と「電磁気学入門」（高校レベル）に分け、「基礎物理工学」（電磁気学）の聴講には、自然系共通専門基礎科目に関する習得条件を課す。50名程度の定員×2にする。
2. 基礎物理工学（電磁気学）に対応する演習、「電磁気学演習」を作り、より多くの時間を電磁気学の勉強に費やすってもらう。
3. 聴講人数を減らしたうえで、TAなどを多く動員し、講義と演習を隔週で行う。
4. 聴講人数を減らしたうえで、講義の後半20-30分は質問の時間にして、高校、1年時にわからなかったことなどの復習、その講義の復習に充てる。

1- - > 4の順に効果的なものです。4->1の順に実行が容易である。2年次のカリキュラムによると、1 - 4限で20コマ中空き時間が10コマもあるということを考えれば、1も2も十分可能である。予算にしても非常勤講師なら15万円で可能なので行わない理由がわからない。

6.2 専任教育コーディネータ

問題は、カリキュラムは其々の学科で時間をかけ議論して構築しているのであろうが、実際の講義内容や学生の実際の習得度に関し、全体を見渡して詳細に把握している担当者は誰一人いないのではないかという点だ。特に、工学部の基礎科目である数学・物理は非常勤や他学科、共通講座にまかせることが多いので、内容の連携がどこまでできているのか疑問である。実際、入試担当、カリキュラム担当、高大連携担当、Jabee担当、学年担当などの分担された各担当者は各学科に存在するが、高校理科（物理、化学、生物、地学）・数学の内容と大学での（基礎）教育全体を講義内容にまで踏み込んで見渡せ、実際の学生の習得状況を把握できる教員がいなければ、教育が有機的に機能しないのではなかろうか。各担当者の存在は運営上の効率はいいが、縦割り運営の弊害も生み出す。

このような事態の抜本的な改善のためには、上記のこと全体を把握できる専任の「教育コーディネータ」が学科内に必要なのではないだろうか。本来は講義の担当者同士が年に何度も議論し合う場を持ち、お互いの講義内容について良い意味で干渉しあい、ネットワークのようなものを構築しておくことが、教育上は望ましいと思うが、実際に行うには困難もある。そこで教育コーディネータを配置しハブとして機能させてはどうか。

さらに、教育コーディネータの役割として、「学生のカルテ」作成という役割も考えられる。学年担当ならば、各学生の標準的履修状況は把握できていて、シラバスをみれば、講義内容も概要はわかるであろうが、シラバスの内容の4割位の習得率の学生も珍しくはない。教育コーディネータが把握する「学生のカルテ」は、履修科目と成績のみではなく、各学生との対話や、必要に

応じ試験問題や答案自体も確認して作成されるものであり、講義担当者との教育改善に関する様々な議論にも役立つ。更に、講義内容を丸投げされがちな非常勤講師も、教育コーディネータとの情報のやりとりによって教育上の問題点も議論でき、縦割り運営の弊害も改善されるのではないだろうか。

7 結語

講義の改善の努力を今後もしていくが、講義内容の工夫では補えきれない問題点が存在すると感じ、その構造について論じた。

最後に、アンケートの結果に触れておく。授業前に行ったアンケートで、「自分を勉強させる気にして欲しい」「何もわからない自分に懇切丁寧に教えてほしい」というような、まるで家庭教師を雇っているような記述があり、気になった。これらは、大学2年生になっても、学習する心構えに対する教育がなされていないものと思われる。

[授業前アンケート 2010.pdf 参照] 授業前アンケートの結果

また、授業アンケートに講義の悪かった点、良かった点を記述するがある。

[授業アンケート 2010.pdf 参照] 授業アンケートの記述結果

技術的な改善点が多いになることは確かだが、内容については、2分しているとも思える。

記名式にして1年時での数学・物理学関連講義の成績と重ね合わせ、さらに電磁気学の講義の成績と重ね合わせるによりカリキュラムの構成や聴講の仕方の改善に役立つであろう。定期試験結果の図からわかる合否の明確な境目との関連も興味深い。[定期試験結果.pdf]

参考文献

- [1] 山田弘明, 「専任教育コーディネータ」の設置, 大学の物理教育 16, 172-172 (2010).