

物理学分野

第1節 物理学教育における学士力の考察

物理学は、自然界に内在する法則性を探究するとともに、エネルギーや地球環境をはじめ、現代社会の抱える諸問題に対処していく上で、科学技術の基盤となる知識を提供する重要な役割を担っている。

元来、物理学は普遍性を追求する認識の学問であり、社会の発展と人類の福祉に役立つ様々な科学技術を生み出すことに貢献してきたが、その中には使い方を誤れば人類に災いをもたらすものも含まれる。それゆえ、物理学で得られた知識、論理的思考法、科学的態度などを広く他の分野に正確に伝えていく使命がある。

そのような背景から、物理学教育を市民的教養水準としての科学的リテラシー教育と、技術への応用に的確な見解を示すことができ、かつ学問の発展に寄与できる資質を育成できる専門基礎知識の教育とに位置付けた。それらは双方ともに科学技術社会の持続的発展に貢献できる役目を内在している。つまり科学的リテラシーとしての物理学教育は、未来社会を考える上で必要な自然現象や地球環境に関心を持ち、理解していくための基礎知識を身につけることに重点を置いている。

他方、専門基礎教育としての物理学教育では、科学的リテラシーに加えて、普遍的で客観的な物理学の知識に秘められている多様な可能性を探究し、原理原則に立ち戻り問題を解決できる論理的思考法と科学的態度が養成されることに重点が置かれている。

そこで、物理学教育の達成目標として、科学的リテラシーとしての一般レベルと専門基礎教育の両面から以下の三点を考察した。

第一に物理学の基本概念と法則を理解できること、第二に実験や観察に基づき、自然現象を科学的に捉える態度を持つことができること、第三に自然現象を科学的に考察するために、仮説を立て、モデル化し、実験や数理的技法を活用することができることとした。

【到達目標】

1 物理学の基本概念と法則を理解できる。

ここでは、自然現象の法則性を解明するために物理的概念を正確に理解さねばならない。そのために、物質を構成する要素及びその集合体の特徴を認識させ、法則がつくられてきた過程に関する知識の修得を目指す。

【コア・カリキュラムのイメージ】

＜一般・専門レベル共通＞

物理現象、物理法則、基本概念と物理量、単位など

【到達度】

＜一般レベル＞

- ① 典型的な物理現象の要因を理解できる。
- ② 主要な基本概念と物理法則を理解できる。
- ③ 物理法則が確立された過程を理解できる。

＜専門レベル＞

- ① 典型的な物理現象を物理法則に基づいて説明できる。
- ② 物理法則を基本概念と物理量を踏まえて説明できる。
- ③ 物理法則が確立された過程を説明できる。

【測定方法】

＜一般レベル＞

①～③は、客観式の筆記試験、レポート、口頭試問などにより確認する。

＜専門レベル＞

①～③は、論述式の筆記試験、演習、小論文、口頭試問などにより確認する。

【到達目標】**2 実験や観察に基づき、自然現象を科学的に捉える態度を持つことができる。**

ここでは、基本概念をベースに物理法則の整合性に注意しながら、自然現象の物理的な説明を追求する姿勢を定着させねばならない。その上で、社会生活の様々な場面で直面する課題に対して、科学的根拠に基づいて判断・行動する態度の養成を目指す。

【コア・カリキュラムのイメージ】

＜一般レベル＞

物理学概論、物理学の方法、物理学史など

＜専門レベル＞

物理学詳論、物理学史、物理学演習、物理学実験など

【到達度】

＜一般レベル＞

① 自然現象や地球環境問題に対して、科学的な説明に関心を持って考えることができる。

＜専門レベル＞

① 自然現象や地球環境問題に対して、科学的証拠に基づく推論と単なる意見とを区別して問題点を整理し、自らの意見を主張することができる。

【測定方法】

＜一般・専門レベル共通＞

プレゼンテーション、レポート、スモール・グループ・ディスカッション、ディベートなどにより確認する。

【到達目標】**3 自然現象を科学的に考察するために、仮説を立て、モデル化し、実験や数理的技法を活用することができる。**

ここでは、現象の奥にある普遍性と本質に迫る能力の獲得をさせねばならない。そのため、現象に内包される規則性や系統性を見出し、その上で仮説を立て、現象のモデル化を行い、その妥当性を実験的手法や数理的解析手法を通して検証する技能を修得させることを目指す。

【コア・カリキュラムのイメージ】

＜専門レベル＞

力学、電磁気学、熱力学、波動、量子力学、統計力学、物理学実験、コンピューターの活用など

【到達度】

＜専門レベル＞

- ① データの信頼度を評価できる。
- ② 物理学の知識をもとに現象をモデル化し、説明できる。
- ③ モデルを数理的に表現し、解析できる。
- ④ モデルの妥当性を検証できる。

【測定方法】

①～④は、演習、プレゼンテーション、レポート、論述式の筆記試験、口頭試問などにより確認する。

第2節 到達目標の一部を実現するための教育改善モデル

物理学教育における教育改善モデル【1】

上記到達目標の内、「物理学の基本概念と法則を理解できる」を実現するための教育改善モデルを提案する。

1. 到達度として学生が身につける能力

<専門レベル> 物理学の高度な活用を必要とする専攻分野の学生を対象とした水準

- ① 典型的な物理現象を物理法則に基づいて説明できる。
- ② 物理法則を基本概念と物理量を踏まえて説明できる。
- ③ 物理法則が確立された過程を説明できる。

2. 改善モデルの授業デザイン

2.1 授業のねらい

大学の基礎教育における物理学は、基本概念と法則を理解することに主眼を置いて授業が進められているが、専門分野との関連付けが十分でないため、4年間を通じた学修の成果として見た場合、専門分野を学ぶ上での基礎力として身につけていない学生が多い。

ここで提案する授業は、基礎基本の学びが専門分野の中でどのように関連付けられているかを理解し、物理学における推論や思考法により科学技術がもたらす利便性と脅威を意識できるようにすることを旨とする。

2.2 授業の仕組み

ここでは、理工系学部における初年次での教育を想定しているが、基礎基本の学びが4年間を通じて身につけられるように、初年次教育終了後も学生の理解度に応じた学修の場を提供することを前提としている。そのために、学修ポートフォリオ*などによる自己点検評価を用いて卒業までの期間に亘り、基礎教育担当の教員と専門分野の担当教員及びファシリテーター*が連携して学生の理解度に応じたきめの細かい学修支援を行う（図1）。

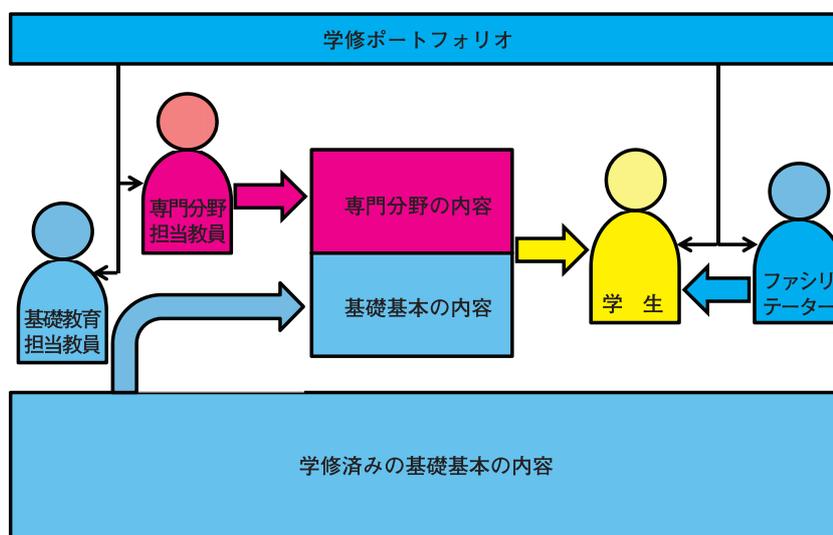


図1 授業の仕組み

2.3 授業にICT*を活用したシナリオ

以下に授業シナリオの一例を紹介する(図2)。

- ① 物理学の成果が社会でどのように活用されているかをその利便性と脅威を踏まえて、ネットやあらゆるメディアを導入して紹介する。なお、高校での数学や物理の修得ができていない学生には、学修支援システム*のサイトにおいて習熟度別のグループによるeラーニング*で基礎力の修得を徹底する。
- ② 専門分野との関連付けの中で科学技術がもたらす利便性と脅威をグループで議論し、考察させる。
- ③ 4年間に亘る切れ目のない学修が可能となるよう、学び直しや振り返りなどができるプラットフォーム*を構築し、ファシリテーターがネット上でコミュニケーションをとり、フォローアップを行う。

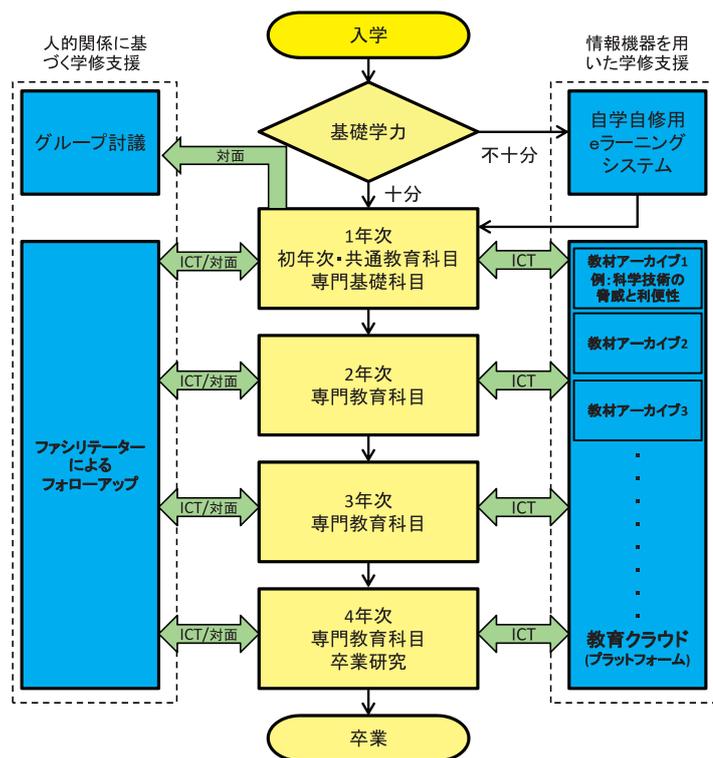


図2 ICTを活用したシナリオ

2.4 授業にICTを活用した学修内容・方法

以下に学修内容・方法の一例を紹介する。

- ① ネットや映像、社会での現場情報などを通じて、物理学が社会でどのように活用されているかを理解させ、学びの動機付けを徹底する。
- ② シミュレーションや映像教材を多用する。例えば、バンデグラーフ起電機と紙テープの挙動映像で点電荷の様子を見せ、物理現象と数式化されたモデルとの関係を理解させる。
- ③ グループワークにマサチューセッツ工科大学のオープンコースウェア*など学内外の信頼のける推奨コンテンツを利用する。
- ④ 物理現象と数式化されたモデルとの関係を理解させるための指導・助言を教員やファシリテーターがネット上で行う。
- ⑤ 授業内容を深化させるための演習問題をグループで議論し、結果を対面や学修支援システム上で発表し、振り返りを行わせる。
- ⑥ その上で、社会との関わりを題材にしてグループで議論させる。例：電磁波の利便性と脅威など

2.5 授業にICTを活用して期待される効果

- ① 物理現象と専門分野の関連を映像やシミュレーションすることで学修意欲を高めることができる。
- ② ネット上でのグループワークを通じて多様な視点から理解の確認を行うことで基本概念と法則の理解の定着を図ることができる。
- ③ 専門分野との関連で必要となる基礎知識の学び直しや振り返りを4年間に亘って実施できる。

2.6 授業にICTを活用した学修環境

- ① 4年間を通じて学びを行うための学修支援システムと理解度判定のための学修ポートフォリオが必要である。

- ② 内外の複数の大学が共有し、相互に利活用できるコンテンツを教育クラウドなどで準備する必要がある。
- ③ 基礎教育担当の教員と専門分野の担当教員が連携して支援するためのプラットフォームが必要である。

3. 改善モデルの授業の点検・評価・改善

この授業モデルに基づく授業の効果を検証するために、専門科目との繋がりの中で、到達度として学生が身につける能力がどのように定着しているかを多様な手段で逐次調査する。その上で、4年間を通じてそれらが達成できたか否かを基礎教育と専門分野の担当教員及びファシリテーターで共有し、不断に改善していく必要がある。また、必要に応じて、学内外を含めた第三者による意見交流なども含めて改善を図る。

4. 改善モデルの授業運営上の問題及び課題

- ① 基礎科目担当教員と専門分野の担当教員が連携して学修支援を行うことを大学のガバナンスとして組織的に対応する必要がある。
- ② 学生目線で助言する上級学年生・大学院生のファシリテーターの確保を制度化する必要がある。
- ③ 学内外を含めた第三者による意見交流などを行うためのクラウドを構築する必要がある。

物理学教育における教育改善モデル【2】

上記到達目標の内、「実験や観察に基づき、自然現象を科学的に捉える態度を持つことができる」を実現するための教育改善モデルを提案する。

1. 到達度として学生が身につける能力

<専門レベル> 物理学の高度な活用を必要とする専攻分野の学生を対象とした水準

- ① 自然現象や地球環境問題に対して、科学的証拠に基づく推論と単なる意見とを区別して問題点を整理し、自らの意見を主張することができる。

2. 改善モデルの授業デザイン

2.1 授業のねらい

完成された物理学の理論体系を論理的に解説するのみでは、学生は共感することも興味を持つことも難しい。その結果、多くの学生は物理学の本質を認識できずに、単なる暗記やパターン化した問題の解法手続きの修得に落ち入り、科学的態度が身につけていない。

ここで提案する授業は、興味を抱かせる自然現象を取り上げ、実験や観察を通じて現象と物理法則を結び付けることで自然現象を科学的に捉える態度を身につけることを目指す。

2.2 授業の仕組

ここでは、協働学修の中で自ら学ぶ姿勢と科学的態度を身につけさせるため、4年間を通じて振り返りを行いながら発展的に学ぶ仕組みを前提としている。そのために、ピア・インストラクション[※]やグループ・ディスカッションを行い、上級学年生・大学院生が学生目線で学修を支援する。

また、ネット上に学修者共同体プラットフォームを構築し、上級学年生・大学院生がファシリテーターとなって学修支援する。このプラットフォームの中で学生は学年進行と共に役割を発展的に担っていく。

ここでの到達度は、自然現象や地球環境問題などに対して、科学的観点から問題点を整理し、自らの意見を発表させることで評価する（図1）。

学修者共同体

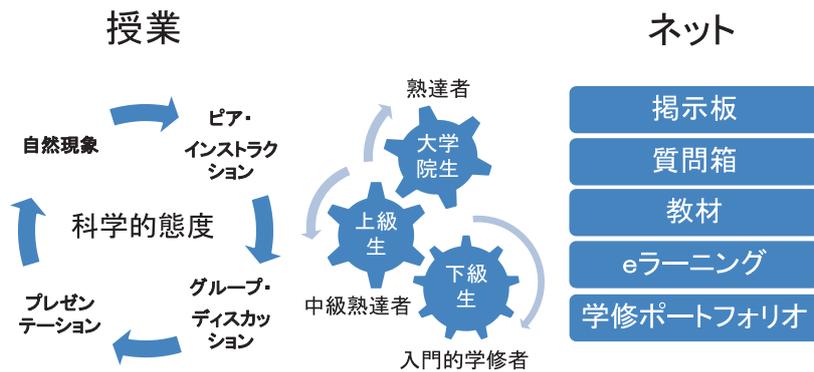


図1 授業の仕組み

2.3 授業にICTを活用したシナリオ

以下に授業シナリオの一例を紹介する（図2）。

- ① 具体的な自然現象を取り上げ、対面やネット上でグループでの協働学修を行い、物理的に考えさせる。
- ② 自然現象を物理的に考えさせるため、グループでの学び合いやピア・インストラクションで能動学修を促す。
- ③ グループ・ディスカッションで多様な視点から科学的思考を行わせる。
- ④ 自然現象の説明に必要な物理法則については、実験を通して検証させる。
- ⑤ 課題についてグループ間で相互評価し、その結果をネット上に掲載することで外部からの助言を取り入れ、振り返りを行わせる。

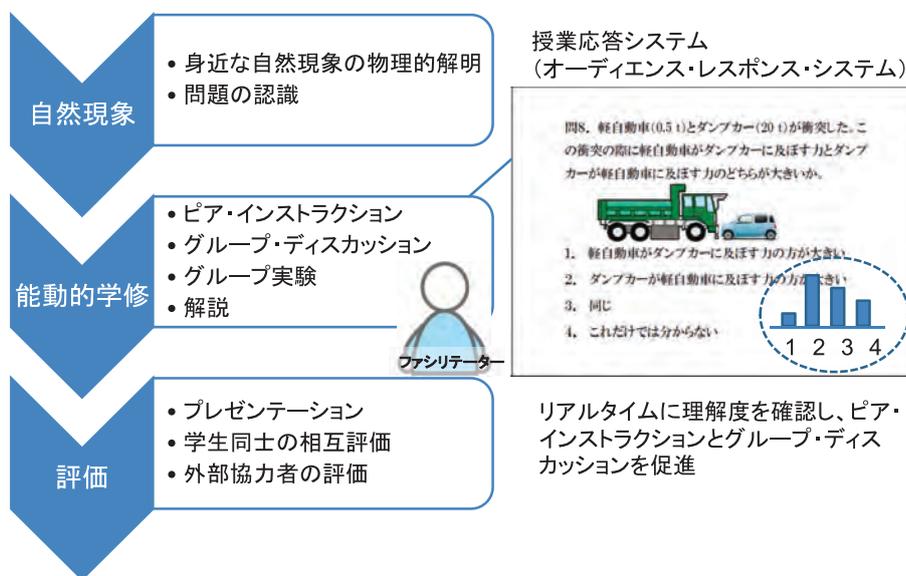


図2 ICTを活用したシナリオ

2.4 授業にICTを活用した学修内容・方法

以下に学修内容・方法の一例を紹介する。

- ① グループでの学び合いやピア・インストラクションで虹の色の配列と角度の普遍性を確認させ、幾何光学で物理的に説明できることを理解させる。その上で、その物理法則がいかに見出された

かを科学的に認識させる。

- ② 虹の性質を説明するための実験をグループで計画・実験し、その結果をネット上に掲載させる。学修の進め方については、上級学年生・大学院生が学生目線で支援する。
- ③ 学修成果を教員が確認し、理解が不足している部分を講義及び演習を通じて指導する。その際、クリッカー※などを利用してリアルタイムで理解度の状況を把握しながら行う。
- ④ 学修成果として「虹の色の配列と角度の普遍性」をネット上に掲載させ、その本質をどのように説明しているか、グループ間で相互評価させる。その上で、外部の助言を受け、振り返りを行い発展的な学修に結び付ける。

2.5 授業にICTを活用して期待される効果

- ① クリッカーなどの利用により、理解度に応じた能動学修が促される。
- ② 対面やネットを通じたグループ討議で、多様な視点から判断する力を身につけられる。
- ③ グループでの学び合いや相互評価により、自ら学ぶ姿勢を身につけさせることができる。

2.6 授業にICTを活用した学修環境

- ① 自然現象の写真や動画、シミュレーションなどのデータベースを大学間・産学連携で整備することが必要である。
- ② 学生の理解度をリアルタイムでキャッチアップする仕組みが必要である。
- ③ 振り返りを行うための学修ポートフォリオが必要である。

3. 改善モデルの授業の点検・評価・改善

この授業モデルに基づく授業の効果を検証するために、専門科目との繋がりの中で、到達度として学生が身につける能力がどのように定着しているかを多様な手段で逐次調査する。その上で、4年間を通じてそれらが達成できたか否かを基礎教育と専門分野の担当教員及びファシリテーターで共有し、不断に改善していく必要がある。また、必要に応じて、学問領域を横断して、学内外を含めた第三者による意見交流なども含めて改善を図る。

4. 改善モデルの授業運営上の問題及び課題

- ① 4年間を通じて発展的な学修を可能にするために、大学ガバナンスとして教員や実験助手、上級学年生・大学院生のファシリテーターが協働して学修を支援する体制が必要となる。
- ② ファシリテーターを確保するための研修制度及び学内雇用制度が必要である。
- ③ 卒業時の学修到達度評価について大学・教員間で評価基準を申し合わせておくことが必要となる。
- ④ 学内外を含めた第三者による意見交流などを行うためのクラウドを構築する必要がある。

第3節 改善モデルに必要な教育力、FD※活動と課題

【1】物理学教員に期待される専門性

- ① 地球社会の発展に向け、科学技術の諸問題について科学者としての使命感と倫理観を持つこと。
- ② 物理学的な観点で科学技術社会の現状を振り返り、将来の地球社会における影響を多面的に見ることができること。
- ③ 仮説と実証を通じて物理現象を解明する科学的方法を汎用的に活用できること。
- ④ 持続的な社会の発展と物理学の関係を気付かせ、主体的に取り組ませられること。
- ⑤ ICTなどの教育技法を駆使して、仮説・検証型の教育ができること。

【2】教育改善モデルに求められる教育力

- ① 授業のカリキュラム上の位置付けを教員間で共有し、シラバス*間の調整を行い、カリキュラムポリシーに沿った授業を実施できること。
- ② 物理学の基礎科目が専門分野でどのように活用できるかを関連付けて説明できること。
- ③ 初年次教育終了後も専門分野の担当教員とファシリテーターの協力を得て連携し、学修ポートフォリオなどを用いて、主体的な学修を継続的に支援できること。
- ④ 物理学における推論や思考法を用いて、科学技術のもたらす利便性と脅威を認識させられること。
- ⑤ 主体的な学修を担保するためにシラバスに予習・復習の内容を明記し、厳格な授業マネジメントができること。
- ⑥ 実験・課題解決型学修などを通じて自立的学修を促し、ピア・インストラクションを含むグループダイナミクスを授業シナリオに導入できること。
- ⑦ ICTを活用して学修成果を発表させ、学内外の評価を通じて到達度を確認し、改善できること。
- ⑧ ICTなどを活用して学生とのコミュニケーション、適切な教材作成、eラーニングができること。

【3】教育力を高めるためのFD活動と大学としての課題

(1) FD活動

- ① 教員間の連携のもとに、授業内容とカリキュラムポリシーとの整合性の確認及び検討を継続的に行う必要がある。
- ② 教養科目と専門科目の担当教員間で意見交換を徹底し、問題点を共有して解決を図る必要がある。
- ③ ポートフォリオ、ピア・インストラクション、グループや協働での学修、対話型授業などの指導法について、ワークショップを組織的に行う必要がある。
- ④ 教育方法に関する研究報告会に積極的に参加し、学修理論に基づいて教員同士が教え合い、学び合うことが必要である。
- ⑤ 外部評価による振り返りを行わせる指導法について、専門家を招くなどの研究会を実施する必要がある。

(2) 大学としての課題

- ① 授業の録画、教材コンテンツ、ネット上のディスカッションを可能にするため、学内外の多様なコンテンツをアーカイブする必要がある。
- ② ポートフォリオを通じて学生の到達度を申告させ、到達度が不足している場合に補完する仕組みが必要となる。
- ③ 関連分野の教員や社会の専門家などから協力を得るために、連携の呼びかけ、制度の整備及び財政的な支援を行う必要がある。
- ④ ICTを活用した教育方法を支援する組織と環境を大学として整備する必要がある。
- ⑤ 世界を視野に入れた教育の質保証を持続的に行う責任がある。