

文系学生に対する教養物理教育の実践報告 — 『アドバンスング物理』 を用いて —

越智 信彰*

Physics Education of Liberal Arts Students Using the Advancing Physics

Nobuaki OCHI *

Abstract

We performed a new approach to physics education for liberal arts students. The Advancing Physics, a modern textbook developed by the Institute of Physics, was employed as the base of our approach. The textbook is characterized by the facts: (i) it includes a variety of modern topics about science and technology, (ii) it is attractive for students with various interests, (iii) the use of math is kept to a minimum. The questionnaire to students after the one-semester lectures showed that our approach was effective in raising their interests in science and technology, whereas we experienced some difficulties in lecturing which should be modified by next year.

Keywords: Physics education, Liberal arts, Advancing physics

要旨：文系学生に対する教養科目としての物理学の講義において、イギリス物理学会により開発されたテキスト『アドバンスング物理』を活用した授業実践を行った。このテキストは従来の物理教育とは全く異なるアプローチで開発され、内容が現代的であること、多様な受講者の関心を引くこと、数式の使用は最小限に抑えられていることなどが特徴である。半期にわたる授業実践の中で、文系学生にも理解しやすいよう工夫を加えながら講義を進めた。学生アンケートの結果から、今回の手法が文系学生にとっても魅力的で、科学技術への興味・関心を高め、科学リテラシーの向上に有効であったことが示された。一方で、いくつかの改善すべき点も明らかとなった。

^{*)} 東洋大学自然科学研究室 112-8606 東京都文京区白山 5-28-20

^{*)} Natural Science Laboratory, Toyo University, 5-28-20 Hakusan, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8606, Japan

1. はじめに

アドバンスング物理とは、イギリス物理学会 (Institute of Physics: IoP) が構築し、2000年よりイギリス国内で実施されている新しい物理教育コースの名称である。イギリスの教育課程では、11年間の義務教育の後、大学進学希望者を対象とした2年間の課程があり、その1年目 (日本の高校2年生相当) をAS (Advanced Subsidiary)、2年目 (日本の高校3年生相当) をA2と呼ぶ。アドバンスング物理では、それぞれに対応したテキストとして“Advancing Physics AS” (Ogborn, J. 2000a), “Advancing Physics A2” (Ogborn, J. 2000b) が使用され、さらにそれに付随するCD-ROMやWebサイトなど豊富な教材が用意されている。本論文では、“Advancing Physics AS” の翻訳本『アドバンスング物理—新しい物理入門』(オグボーン, 2004) を活用した授業実践について述べ、以降この翻訳本を単に『アドバンスング物理』と表記する。

IoPは1990年代後半、イギリス国内での若者の物理離れ対策として、物理教育改革のための委員会を設置して議論を重ね、アドバンスング物理を作り上げた。その開発方針は、谷口 (2005) の報告によると、「内容やアプローチの方法が現代的であること」「興味関心や到達度など、多様な生徒にとって魅力的で、彼らが受け入れることができること」「現代社会の中で使われている物理の姿を示し、歴史的、文化的など様々な文脈の中で物理を学ばせること」等であった。特にASコースは、将来物理を直接必要としない生徒も多く履修することから、多様な生徒の関心をひく斬新なストーリーが数多く盛り込まれ、またフルカラーで仕上げられたテキストは随所に美しい写真や図が配置され、大変魅力的なものとなっている (図1)。一方で数式の使用は必要最小限に抑えられ、計算の苦手な文系の生徒にも十分配慮されている。

このようなコンセプトで開発された『アドバンスング物理』は、日本の文系大学生に対しても、現代人の教養として必要な科学リテラシーを身につけさせるのに有効で魅力的な教材ではないかと考え、授業実践を行った。本論文では、授業の概要と浮かび上がった問題点、および学生へのアンケートに基づいた教育効果の評価について報告する。



(ユニット) コミュニケーション	
第1章	イメージング
第2章	センサー
第3章	信号を送る
(ユニット) デザイナー・マテリアル	
第4章	材料をテストする
第5章	物質の内部を探る
(ユニット) 波と量子の振る舞い	
第6章	波の振る舞い
第7章	量子的振る舞い
(ユニット) 空間と時間	
第8章	空間と時間の地図を作る
第9章	次の運動を計算する

図1 『アドバンスング物理』のテキストと内容 (日本語版)

2. 対象学生

東洋大学白山キャンパスにおいて、2012年度春学期に筆者が担当した基盤教育科目「生活と物理」2コマ（1部学生向け1コマ、2部学生向け1コマ）の受講生が対象となった。1部学生向け授業は土曜2限（10:40～12:10）に開講され、経済学部・経営学部・法学部の学生が受講可能、2部学生向け授業は火曜6限（18:10～19:40）に開講され、白山キャンパスの全6学部（全て文系）の学生が受講可能であった。履修登録者数は1部学生63名、2部学生138名であったが、一度も出席しなかった学生を除いた実質履修者数は1部学生53名、2部学生119名であった。図2に実質履修者数を分母とした、授業毎の出席率を示す。概ね7～9割の安定した出席率が得られ、受講態度も良好であった。

後述するように、第1回授業では「事前アンケート」を、第14回授業では「事後アンケート」を取り、学年を記入させた。学年の内訳を図3に示す。1部学生は1～4年生がほぼ均等であり、2部学生は3・4年生の割合が高いことがわかる。また、事前アンケートでは高校での物理履修状況も調査したところ、1部学生は履修44%・未履修56%、2部学生は履修32%・未履修65%・不明3%であった。近年、高校での物理履修率は2割を切っていると言われている（日本学術委員会物理学会議, 2010）ことから、高校物理経験者が多く集まっている傾向がうかがえる。

また、学生のほとんどは2002年度以降小中学校で理科の内容が約3割削減された学習指導要領（いわゆる「ゆとり教育」）に基づく教育を受けてきたであろうことを付け加えておく。

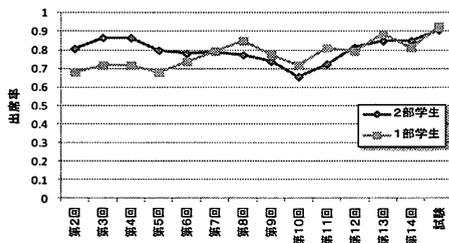


図2 授業毎の出席率

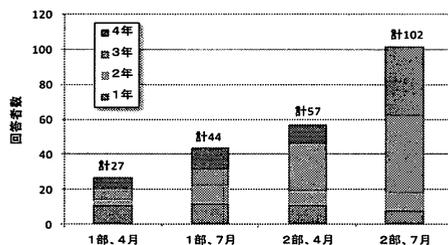


図3 アンケート回答者数と内訳

3. 『アドバンシング物理』を用いた授業の構成

3.1 授業の目的と到達目標

『アドバンシング物理』の内容をベースに、身近な科学技術や最先端の研究成果を多く取り上げながら、その中で物理学の基本原則・現象を解説する。これらを通して、文系学生にとっても将来役に立つ科学技術についての知識や科学的な探究方法(科学リテラシー)

を修得させることを目的とした。

到達目標は (1) 身近で起こっている現象を物理的に説明できる、(2) 科学技術に関心をもち、物理学が生活の様々な場面で役立っていることを理解する、(3) 科学的な物の見方や探究方法を修得する、の3項目とした。

3.2 指導方法

基本的にパワーポイントを使用した通常の講義スタイルで授業を進めた。必要に応じて動画や簡単な演示実験も取り入れた。学生にはパワーポイントスライドの印刷物を配布したが、その一部(重要語句等)を穴埋め形式とすることで、授業への参加意識・集中度を高めるよう工夫した。

アドバンシング物理において、本来テキストは教材の一部に過ぎない。別に用意されているCD-ROMやWebサイトに収められた膨大な補助教材やコンピュータシミュレーション、実験・実習・演習問題も活用した生徒主体の授業展開が期待されている(イギリスでは10~25名程度の少人数クラスで授業が行われている)。しかし今回は、受講者の人数が多いこと、実験器具がほとんど整備されていないこと、コンピュータの台数が不足すること、等の理由により、すべての授業を通常教室での講義スタイルとした。ただし、やはり講義だけではなく実際に物理現象を目で見ることによって教育効果は上がることが期待されるため、今後演示実験を増やすこと等が課題である。

また、毎回の授業の最後には、10~15分の時間を取ってミニテストを実施した。内容はその日の講義内容の重要事項の確認と簡単な計算問題(計4問前後)であり、講義をきちんと聞いた学生にとってはたやすく解ける問題とした。これにより学生の授業への出席意識・集中度は向上したと思われる、毎回ほぼ9割以上の学生は満点を取った。

3.3 授業の概要

今回、2012年度春学期15回の授業のうち、9回を『アドバンシング物理』を利用した内容に充てた。図1に示した全9章のうち、文系学生にとって身近で興味を引く内容で、かつ最小限の数式計算で理解可能だと思われる4つの章を取り上げた。スケジュールと講義内容の概要、および扱った数式計算を表1にまとめる。授業内容は1部学生・2部学生とも同じ内容とした。講義のストーリーは、ほぼ『アドバンシング物理』に準拠したものになっている。

それぞれの授業において、『アドバンシング物理』の内容に加えて工夫した点や、実践を通して感じた問題点などを、以下に列挙する。

まず初めに取り上げた章「イメージング」では、様々なデータを画像化して理解しやすくする技術について、最先端の分野における具体例を示しながら解説を行う。本授業へのイントロダクション的な意味合いもあることから、3回にわたって時間をかけて指導した。

第2回では、まず冒頭で超音波を使って撮影された胎児の動画を提示し、学生の関心を引き付けることができた。波の基本事項の解説では、シミュレーションソフトを使用して実際に波を動きを見せ、イメージの助けとした。後半では超音波スキャンにおける時間分

表1 『アドバンス物理』を利用した授業の概要

授業回数	章	節	主な講義内容	扱った数値計算
第2回	イメージング	▶ 「見えないものを見る」技術*	医学における画像処理 画素と分解能 波の基本的な性質 超音波スキャンの仕組み 電磁波とスペクトル 宇宙探査と天体画像	波の基本式
第3回	イメージング	▶ 「見えないものを見る」技術* ▶ 画像の中の情報	電子顕微鏡 走査型トンネル顕微鏡 10進数と2進数 ビットとバイト デジタル画像の情報量 デジタル画像処理	2進数の表し方 画像のバイト数
第4回	イメージング	▶ 光（可視光）とは何か？† ▶ 目とレンズのはたらき*	光の正体 色の正体 目の構造とはたらき CCDセンサー レンズのはたらき	レンズの公式
第5回	信号を送る	▶ デジタル革命と距離の消失	通信の歴史 アナログとデジタル ファックスの仕組み 電子メールの仕組み CDの仕組み 音のデジタル化	情報の転送速度 デジタル音楽のデータ量
第7回	信号を送る	▶ 電磁波で信号を送る	電波とアンテナ AM方式とFM方式 デジタル信号の送信速度 デジタルテレビ	電波の波長 デジタル信号の送信容量
第8回	材料をテストする	▶ 適した材料を選ぶ* ▶ よりよい建物	様々な材料と用途 材料の力学特性 セラミックス、ポリマー 建材の選択 材料の変形、ヤング率	ヤング率
第9回	材料をテストする	▶ 材料の光学的性質* ▶ 材料の電氣的性質*	光の反射と屈折 物質中の光速と屈折率 全反射と光ファイバー 電気抵抗 抵抗率 導体、半導体、絶縁体	屈折率 オームの法則 抵抗率
第11回	波の振る舞い	▶ 美しい色、すばらしい音	様々な色 重ね合わせの原理 波の位相 色と薄膜 定常波 弦楽器と管楽器	弦の振動数 気柱の振動数
第12回	波の振る舞い	▶ 光速探究の歴史† ▶ 光とは何か	光速の探求の歴史 光の粒子説と波動説 ホイヘンスの原理 ヤングの実験	光の波長

*) 『アドバンス物理』における節の名称に筆者が改変を加えたもの。

†) 『アドバンス物理』にはないが、筆者が追加した内容。

解能への要請から、振動数の高い超音波領域を使用する必然性を具体的な数値で説明したが、やや数学的に煩雑であり計算についてこれない学生がいたようである。また、補助単位 μ を理解しない学生が大半であり、事前に補助単位の解説プリントを配布しておく必要性を感じた。

第3回では、電子顕微鏡で撮影された多くの画像が何を拡大したものであるか、クイズ形式に展開したことが、大いに関心を引いた。また、デジタル画像の情報量の計算では、学生にとって身近な例としてiPhoneを取り上げ、その画素数に基づいた計算を行わせた。

第4回では、目とレンズのはたらきを解説する前に、光について詳細に説明しておく必要があると判断し、「光(可視光)とは何か」という節を挿入した。そこでは、可視光は電磁波の一部であること、白色光には全ての色の光が含まれること、物体の色とは何か、といった解説を行った。その後、レンズの公式の計算においては、分数の計算が苦手な学生がおり、ここでも計算の事前指導の必要性を感じた。

次に「信号を送る」の章では、テレビ放送波や携帯電話、インターネット等の通信技術を取り上げ、アナログ信号とデジタル信号の取り扱いについて指導した。

第5回は、冒頭でKDDIが学校向け教材としてウェブ上で公開しているアニメーション「通信の歴史」を見せながら解説を行い、情報通信技術の発展と恩恵について理解を深めさせた。また、デジタル音楽におけるサンプリングレートにまつわるトピックとして、ゾートロープの動画を紹介したところ、学生から驚きの声があがり、強い印象を残すことができた。一方で、データ量の計算ではやはりk(キロ)、M(メガ)といった補助単位に苦しむ学生が多く見られた。

第7回では、八木・宇田アンテナの開発・普及と戦争利用にまつわるエピソードを紹介した。また、偏光を理解させるために偏光フィルムを配布して実際に体験させたところ、非常に関心を引いた様子で、実物を触らせたり、演示実験などで実際に見せることの必要性を感じた。

続いての「材料をテストする」の章では、特定の目的のために必要な材料を、様々な指標を基に正しく選択することについて解説した。

第8回では、コンクリートの圧縮試験と金属の引張り試験の動画を見せた。大音響と共に材料が破壊される様子が大いに興味を引いたようである。

第9回は屈折率の計算、オームの法則の計算、抵抗率の計算と、最も計算量の多い授業となり、かつややこしい指数計算も含んでいたことから、学生は非常に難解に感じた様子である。課題等により計算の事前指導をしておくと共に、計算量を減らす必要がある。

最後に取り上げた章「波の振る舞い」では、音と光に関連した様々な身の回りの現象を取り上げ、その後「光の本質は何か」という問いに迫る展開である。

第11回はウェーブマシンの動画を紹介したが、非常に印象的な教材であることから、できれば実物を用意し演示を行うべきだと感じた。後半の弦の振動、気柱の振動についても同様であり、工夫次第でさらに魅力的な授業が構築できると感じた。

第12回では、初めに光速探究の歴史の節を挿入した。ガリレイ・レーマー・ブラッドリー・フィゾーと続く探究の歴史を時間をかけて説明し、その測定方法の巧みさに学生は感心した様子であった。後半のヤングの実験では、今回は時間の関係上、実際に光の干渉縞を見

することができなかったが、容易でわかりやすい実験のため、次回は教室内で演示すべきであると感じた。

3.4 成績評価

成績は毎授業後に実施したミニテストの合計点を50点満点に換算、期末試験を50点満点、それらの合計を最終成績とした。ミニテストの点数が成績の半分を占めることから、学生の出席意識は高かったように感じられた。

4. アンケート結果

4.1 授業難易度のアンケート

学生の理解度を把握し、次回以降および次年度以降の講義内容の修正の参考とするために、毎回の授業終了時に難易度アンケートを行った。その日の講義内容の難易度を、「難しい」「普通」「簡単」から1つ選択させた。結果を図4に示す。全体の傾向としては「普通」

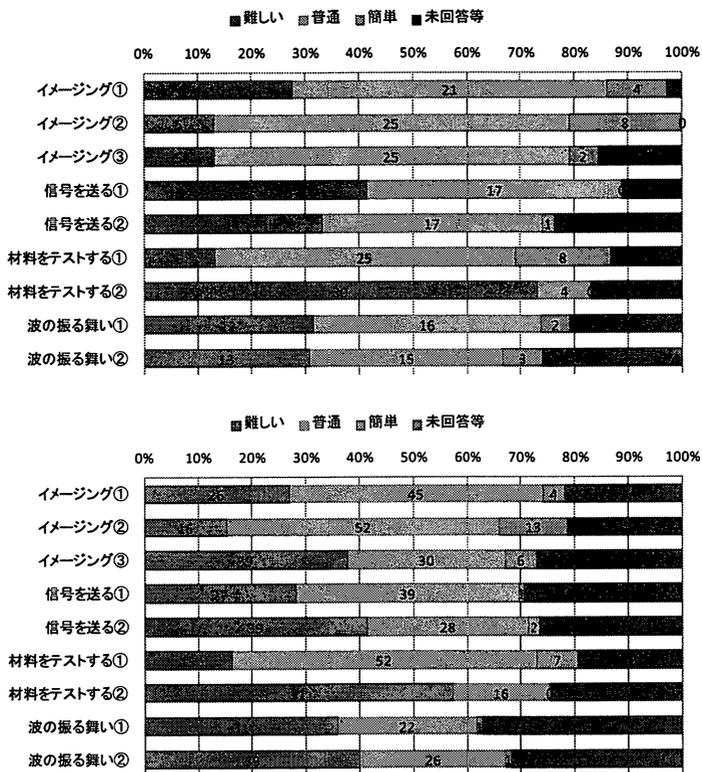


図4 授業難易度のアンケート結果 (上：1部学生 下：2部学生、数字は回答数)

の回答が最も多く、講義レベルの設定は1部学生・2部学生の両方に対して概ね適切であったと考える。「材料をテストする②」の回を難しいと感じた学生が多かったが、これは文系学生の苦手な指数計算が多く含まれたためと推察される。その他の回を見ても、計算の量と学生の難易度の印象が相関を持っている傾向が見られる。数式の取り扱い方が、学生の理解度と学習意欲を左右する重要なファクターであると考えられる。

4.2 事前アンケートと事後アンケート

今回の授業実践を通して、文系学生の科学技術への理解や関心がどのように変化したかを調べるため、第1回授業において「事前アンケート」を、第14回授業において「事後アンケート」を実施した。アンケート回答者数と内訳は、図3に示した通りである。ここではアンケート集計結果の抜粋を示す。

事前アンケート・事後アンケート共通の質問項目として、『「科学技術」に対するイメージで、あてはまるものを全てマルしてください。』と問い、選択肢を9つ用意した。事前・事後にそれぞれの選択肢を選択した割合を図5に示す。なお、ここでは1部学生と2部学生の差が小さかったため、合わせて集計している。また、図ではポジティブなイメージの選択肢と、ネガティブなイメージの選択肢で分けて表しているが、アンケート用紙では順不同で並べてある。

図5を見ると、「関心がある」「便利・役立つ」「不思議」といったポジティブな選択肢において、事後の選択率が上昇している。これは本授業が目指した「科学技術に関心を持ち、生活の様々な場面で役立っていることを理解する」との到達目標に対してある程度の成果が得られたことを表している。特に、「不思議」の選択率が大幅に上昇していることは、これまであまり注目することのなかった様々な製品や自然現象の背景には、多くの科学的事実や技術が潜んでいることを認識したことの表れだと推察できる。また、「仕組みを知りたい」の選択率が上昇していないことは、身の回りにある技術製品の仕組みを理解することの楽しさを伝え切れなかったことの表れであり、来年度以降の課題である。

一方で、「難解」の選択率も上昇している。前述のように、特に計算に対して苦手意識・拒否反応を示す学生が多い印象であった。主にこの計算演習が、難解なイメージを残す結

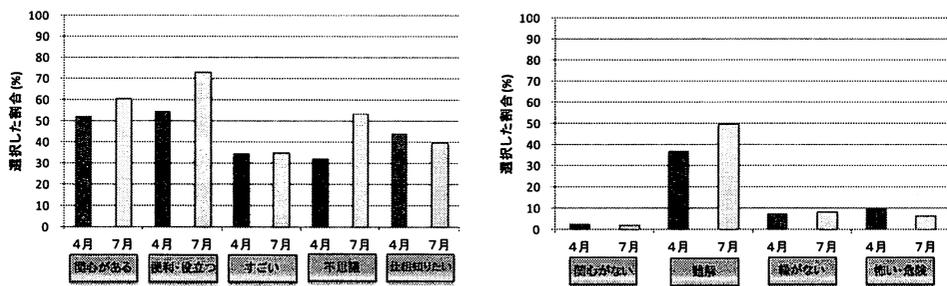


図5 受講前後における科学技術に対するイメージの変化 (4月:事前 7月:事後)

果になったと考えられる。使用している計算は中学数学レベル程度であり、また現象を数式で表すことの楽しさも理解をしてもらいたいことから、来年度に向けて数学的補足の資料を充実させることを検討していく。

事後アンケートにおいて、「この授業を受けて『科学技術』に対する関心は増しましたか。」との質問をし、「とても増した」「少し増した」「変わらない」の3つの中から1つ選択させた。結果を図6に示す。1部学生、2部学生ともに9割以上が「とても増した」または「少し増した」と回答しており、この結果からも前述の本授業の到達目標が十分達成されたと考えられる。

最後に、事後アンケートの自由記述欄に書かれたコメントから、代表的な意見を抜粋して表2に示す。コメントのうち、およそ7割が「楽しかった」「興味をもてた」「わかりやすかった」といった肯定的な意見、およそ2割が「計算が難しかった」という否定的な意見であった。「身近な科学技術について知れてよかった」との意見も多く、学生の科学リテラシーの向上に資することができたと考えられる。

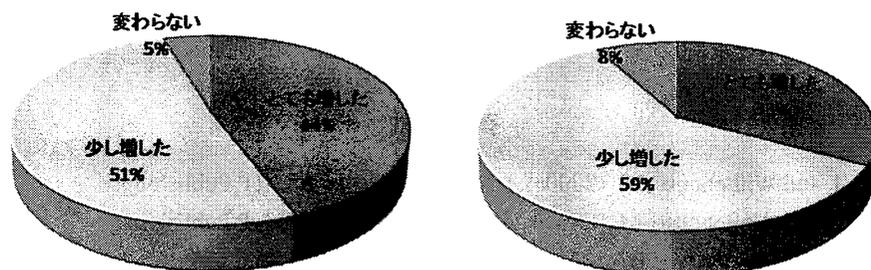


図6 受講後、科学技術に対する関心の変化 (左: 1部学生 右: 2部学生)

5. 結論

文系学生を対象とした教養科目「生活と物理」において、『アドバンス物理』をベースとした授業実践を行った。文系学生にも理解しやすいよう様々な工夫を加えながら講義を展開し、アンケートの結果から、本取組が学生の科学技術への関心を高め、科学リテラシーの向上に有効であることが示された。一方で数学的な面では、容易な計算しか扱わない場合でも、十分な事前指導・事後指導が必要であること、学生の理解を助ける演示実験を増やすことが望ましいことなどの課題が見つかった。まだ初年度の取り組みであり、改善の余地は大いにあるが、従来の日本における物理教育と全く異なるスタイルで書かれた『アドバンス物理』の内容が、文系大学生の教養科目において有効な教材となり得ることは間違いがないことが示されたと考える。今後講義内容をブラッシュアップしていくとともに、『アドバンス物理』の他の章の講義への取り込みを進める。以上の講義記録は、他大学での同様の試みにおいても大いに参考となるであろう。

表2 事後アンケートにおける自由記述 (抜粋)

- ▶ 身近な科学技術でも今まで意識していなかったので、楽しかったです。
- ▶ 授業は面白いし、わかりやすかったです。
- ▶ 少し難しかったです、楽しかったです。
- ▶ 身近な物の仕組みを科学的に知れて、話のタネ等にもなり役だった。
- ▶ 身近にあるCDなどが、どのようにできているかを知ることができてよかった。次もぜひ取りたい授業だと思いました。
- ▶ 授業のあと携帯電話で調べたり、関心がとても増した。
- ▶ 難しいところもあったが、それでも身近な物からなかなか縁のないものまで様々なことを知れて楽しかった。
- ▶ 全体的に難しく、特に計算が難しいと思いました。
- ▶ 思っていたよりも計算が多く、難しい講義だった。プリント形式なので講義はやりやすかった。

参考文献

Ogborn, J. and Whitehouse, M. (2000a) Advancing physics AS. IoP Publishing.

Ogborn, J. and Whitehouse, M. (2000b) Advancing physics A2. IoP Publishing.

オグボーン・ホワイトハウス (2004) アドバンスング物理—新しい物理入門. シュプリンガー・フェアラーク東京

谷口和成 (2005) 英国高校物理コース『アドバンスング物理』にみる理科カリキュラム開発の視点. 化学と教育 53巻10号: 544—547

日本学術委員会物理学会議 (2010) 日本の展望—学術からの提言 2010: 報告 物理学分野の展望

参考 Web サイト

KDDI 通信の教科書 通信の歴史 <http://www.kddi.com/junior/contents/history/index.html>