

# 学部進学理科系留学生のための教材開発 —物理を中心に—

道脇綾子

## 1. はじめに

東京外国語大学留学生日本語教育センター（以下、留日センター）は、前身である付属日本語学校から数えて来年度で創立 40 周年になる。学生は日本政府招致留学生、いわゆる国費留学生で、大学の学部に進学する 18 歳から 22 歳までの留学生である。全寮制で、日本語が全くわからない学生を 1 年間の短期集中教育によって国立大学の 1 年生に進学できるように教育することが求められていた。留学生たちの母語は英語とは限らず多様であり、媒介語を使わず直接法による日本語指導が基本理念に据えられていた。当時、このような外国人に日本語で理科系の科目を教える教材は、千葉大学留学生課程によって開発された教材以外はほとんど無い状況であった。

筆者は 1971 年から付属日本語学校で理科系の教育、主に物理を担当してきた。本稿では物理を中心に、物理教育の変遷を振り返り、試行錯誤してきた中から開発した現行教科書の内容を紹介する。大学で理科を専攻する留学生への教育を考える一助になれば幸いである。

## 2. 物理教材の変遷

### 2-1 付属日本語学校以前の教材（1960 年代）

40 年以上前の国費留学生の教育は、1954 年に文部省と外務省が協議して作製した「国費外国人留学生制度実施要項」に基づき、「学部留学生」と「研究留学生」の 2 種類に区分された留学生を受け入れることになった。これによって、東京外国語大学に修業年限 1 年の留学生別科が日本語を習得することが目的で設置された。しかし、予算不足等のためさまざまな問題が生じ、期待されたほどの教育成果が挙げられないことなどから、1959 年に文部省内で改組が議論されるようになった。1960 年に、大学教養程度まで含めた修業年限 3 年制の留学生課程として新たに発足することになった。このとき、文科系は東京外国語大学留学生課程で受け入れ、7 年後に特設日本語学科に至った。理科系は新たに千葉大学留学生課程で受け入れることになり、留学生の理科系教育が始まった。

理科系教材は、当時の文部省調査局から千葉大学留学生課程の理科系の教官に対し、物理、化学、生物のそれぞれについて執筆を委嘱して開発されたものである。手元にある『物理学』第 1 学年用のまえがきにはその旨が記され、昭和 37 年 8 月の日付となっている。このほかに物理関係の教材としては『物理学』の実験書も同様に開発されている。

当時の『物理学』の目次を図1に、本文の一部を図2に示す。それを見ると、力学と電気（電流）を中心に内容を厳選し、留学生用に配慮を加えたものであることがわかる。必要に応じて漢字に読み方をつけ、専門用語には脚注に英語訳が付けてあるなど、留学生が読めて理解できるように工夫されている。漢字の読み方は目次には全くなく、本文の中では漢字の横の（ ）内に示されている。分かち書きで比較的ひらがなが多く使われているので、若干煩雑に感じるが、当時はタイプライター等の技術や出版までの時間などに制約があったのかもしれない。

| 目 次                    |    |
|------------------------|----|
| 1. 力 と 運 動.....        | 1  |
| 2. 運 動 の 法 則.....      | 11 |
| 3. 仕事とエネルギー.....       | 27 |
| 4. 円 運 動.....          | 34 |
| 5. 運 動 量.....          | 40 |
| 6. 周 期 運 動.....        | 44 |
| 7. 電 流 と 抵 抗.....      | 49 |
| 8. 電 流 の 熱 作 用.....    | 56 |
| 9. 電 流 の 磁 気 作 用.....  | 58 |
| 10. 電 流 の 化 学 作 用..... | 66 |
| 11. 静 電 気.....         | 69 |
| 12. 交 流.....           | 77 |

図1 千葉大学留学生課程『物理学』目次

AからBに $F_1$ , BからAに $F_2$ の力が作用し  
 図1・12  
 っているとすれば、この $F_1, F_2$ は作用と反作用になっていて、大きさがひとしく向きが反対です。しかし $F_1$ あるいは $F_2$ の力はかならずしもAとBとの接触面(せっしゃくめん)<sup>1)</sup>に垂直(すいちよく)<sup>2)</sup>ではなく、たとえば $F_1$ を面の方向の力 $Q$ と、面に垂直な方向の力 $P$ とに分けることができるでしょう。すると $P$ はA, Bの物体のおし合う力であり、 $Q$ はずらそうとする力になります。この $Q$ のような力を摩擦力(まさつりよく)<sup>3)</sup>といいます。

**静止摩擦**(せいしまさつ)<sup>4)</sup> 図(1・13)でACは水平面(すいへいめん)<sup>5)</sup> ABと $\theta$ の角(かく)をなす斜面(しゃめん)<sup>6)</sup>で、その上に物体があります。この物体が動きださないときには、物体にはたらく力、すなわち重力が、物体と斜面との間にはたらく力とつりあっているはずで、このばあい、物体と斜面との間に斜面方向にはたらく力を**静止の摩擦力**とい

|                     |                    |
|---------------------|--------------------|
| 1) contact plane    | 2) perpendicular   |
| 3) friction         | 4) static friction |
| 5) horizontal plane | 6) inclined plane  |

図2 同書 本文一部

図3には『物理学』の実験書の目次を示す。こちらの本の目次には漢字の読み方が入っているものと入っていないものがある。同様にカタカナ表記された人名や装置に対する英語表記が有るものと無いものがあり、統一されていない。しかし、この教材には実験書として重要な注意事項、誤差や精度と計算方法や副尺についての解説があり、常数表や数表などが付されている。これらは実験後に学生がレポートを書くときのための利便性を考慮したものであろう。また、『物理学』の教科書本体とは違い英和・和英の索引までついているので留学生にとって使い勝手がよくなっている。本文の表記は漢字仮名混じり文であり、漢字の横の（ ）に読み方が示されている点は『物理学』第1学年用の場合と同様である。

## 目 次

|      |  |     |
|------|--|-----|
| § 1  | 実験についての一般的注意 (いっばんてきちゅうい) ……………                | 1   |
| § 2  | 誤差 (ごさ) ……………                                  | 6   |
| § 3  | 測定精度 (そくていせいど) と計算 (けいさん) ……………                | 7   |
| § 4  | 副尺 (ふくしゃく) ……………                               | 16  |
| § 5  | フォルタン (Fortin) の気圧計 (きあつけい) ……………              | 19  |
| § 6  | 球面計 (きゅうめんけい) ……………                            | 22  |
| § 7  | プランメーター ……………                                  | 26  |
| § 8  | ボルダ (Borda) の振 (ふ) り子 (こ) ……………                | 32  |
| § 9  | サールの装置 (そうち) ……………                             | 36  |
| § 10 | ユーイングの装置 ……………                                 | 41  |
| § 11 | ねじれ振 (ふ) り子 (こ) ……………                          | 48  |
| § 12 | ジョリーの spring balance ……………                     | 52  |
| § 13 | ヘアーの装置 ……………                                   | 56  |
| § 14 | 気柱 (きちゅう) の共鳴 (きょうめい) ……………                    | 58  |
| § 15 | クントの実験 ……………                                   | 61  |
| § 16 | 気体 (きたい) の膨張 (ぼうちょう) ……………                     | 65  |
| § 17 | 球面鏡 (きゅうめんきょう) の曲率半径 (きょくりつはんけい) ……            | 70  |
| § 18 | 屈折率 (くっせつりつ) ……………                             | 76  |
| § 19 | ホイットストーンブリッジ ……………                             | 80  |
| § 20 | 熱 (ねつ) の仕事当量 (しごととうりょう) ……………                  | 89  |
| § 21 | 三極真空管 (さんきょくしんくうかん)<br>の特性曲線 (とくせいきょくせん) …………… | 96  |
| § 22 | 等電位線 (とうでんいせん) ……………                           | 105 |
| 付    | (1) 常数表 (じょうすうひょう) ……………                       | 109 |
|      | (2) 数表 (すうひょう) ……………                           | 121 |
|      | 索引 (さくいん) ……………                                |     |
|      | 英和 (えいわ) ・和英 (わえい) ……………                       |     |

図3 「『物理学』の実験書」 目次

### 2-2 高校物理教科書と大学教養物理を基にした教材 (1970 年代前半)

付属日本語学校の1年間は3学期制であり、4月から7月の夏休み前までが1学期で、夏休みは8月20日までのちょうど1ヵ月しかなく、まだ日本の一般の学校が夏休み中に2学期が始まった。2学期は12月の冬休み前までの長い学期で、3学期は3月20日頃までであった。筆者が着任して何年かの間は、一般理科の授業の開始時期は6月から、年によっては4月からというように変動的であった。当初は日本語以外の教科を留学生に教えるにはどの時期から始めるのが効果的であるのか、まだはっきりわかっていなかった。日本語が全くできない留学生に4月からいきなり物理ということは考えられなかったが、6月から始めてもまだ早いというようなことが次第にわかってきた。

教材については、筆者は千葉大学で開発された「『物理学』第1学年用」の教材を使用した経験がなく、(現在はその内容で十分指導可能だと捉えているが)1年間用としては内容が少ないと思えた。学生が1年後に大学で日本人と一緒に物理学の講義を受けるのであるから、日本の

高校生が学ぶ物理の内容を理解している必要があると考え、高校生用の物理の教科書を使用することにした。

しかし、日本人用の教科書は当然留学生に対する配慮は何もなされておらず、次第に様々な問題が出てきた。

例えば、ある授業で、粘性の説明に「水あめのような」という表現があった時、学生から「先生、水あめは何ですか?」という質問が出された。日本語を知らない学生として極当たり前のことであるが、水あめそのものを日本語だけでどのように説明すればいいのか四苦八苦し、結局良い説明ができずに終わった。日本人高校生用の教科書では、物理の内容以前に言葉の問題で時間を使い果たしてしまい、先に進むことができないことが多かった。

また、試験での設問内容が曖昧になることもあった。例えば、「雨が降っているとき、傘を回しながら差している。この傘の上に虫が止まっていて、傘の端から飛んでいく雨粒を見ている。この虫にとって雨粒はどのように見えるか」というような問いである。この問いに対して、一人だけほかの学生と答えが違っていたので、本人と話し合いをしたところ、彼の答えはこの虫は傘の表面に触れているのではなく、傘の上の空間に止まっているという立場で考えたものであるとわかった。物理的な内容は十分理解できていたのだが、言葉の意味の範囲の違いを痛感した。

留学生たちは、日本人より日本語に対して忠実に、注意深く、表現された日本語の中で考え得るいろいろな場面を想定し、その中から答えを見つけている。また、日本人は大抵試験の解答を授業で受けた範囲で考えるだろうが、留学生はそのような制約を受けずに、母国での学習経験も含めこれまでに自分が学んできたことから本質的に考えていることに気づかされた。

授業担当者としては学生には何とかして日本の高校生が学ぶ物理の内容を伝えたいという思いがあった。しかし、日本人の高校生用の物理の教科書は、1年間という時間制限もある上に日本語の問題もあるため、これを全て教えるのが無理なことは明らかであった。また、留学生のほうも高校を卒業してきているので、既に国で勉強してきたという自負があるため、日本語はわからないが内容的に受け入れられないという問題もあった。留学生のための予備教育は、日本の大学浪人が通うような予備校の教育と同じではないし、そのような教育を考えるべきではないとも思った。

そこで、次に試みたのが大学の一般教養での物理を基にした教材である。留学生は国によって教育程度や教育方法などの教育的背景が違っている。また、高卒後すぐに来日する学生、大学の途中で来日する学生などの違いもあった。大学の教養物理は物理を数学的に扱うことが多く、この方法に慣れている学生にとっては非常に教育効果の上がる教材であった。その一方で、微分・積分やベクトル演算に対する経験の深さに違いがあり、数学的に使いこなせない学生にとっては負担が大きすぎるという問題も生じた。また、短期集中予備教育の中で物理に使える時間は実質的には約半年程度であり、大学の物理は分野別の内容が深いので時間的にも内容的

にも対応しきれなかった。

### 2-3 試行錯誤の教材（1980 年前後）

日本の高校や大学の物理を基にした教材を使用しての問題を踏まえ、改めて短期集中型の留学生教育に必要な物理の教材は何かを考え直した。その結果、物理の中でも基本的で重要な力学と電磁気学の分野について扱うこととした。

この頃になると、1 学期に理科系の授業を何もしないで、2 学期に入り 9 月から理科系 3 科目（物理、化学、生物）を始めるのは効率が悪く、遅すぎることもわかってきた。そこで、1 学期には理科系科目に共通して必要なことを教えておくことにし、「一般理科」の時間を日本語の中間試験後に開始して、理科系 3 科目がそれぞれ独立した授業を展開するのは 9 月からということに定着してきた。9 月になると学生の日本語力もかなりついてくる。

物理の授業内容も再整備した。まず、9 月からの物理の授業では学生たちも良く知っている力学の法則から始め、次に具体的な運動について扱うことにした。しかし、日本語力がついてきたとはいえ、この時期に日本語で運動の法則についてディスカッションする（ここでディスカッションとは、教師の発問と学生の答えのやりとりにより学習を進めていくことを指す）のはまだ難しかった。留学生の物理教育に必要なことは、単に物理の内容を日本語に置き換えることだけではなく、ディスカッションができないと内容に興味の持てる授業にならないことが多いと感じた。また、進度については、ニュートンの質点の力学がある程度終わるのは 12 月まで、電磁気の内容に進むのは 3 学期ということが掴めてきた。

次に考えたのは、9 月の物理の開始時期には、日本語でディスカッションするのはまだ難しいため、法則のようなものではなく具体的に表現できる運動を学ぶ授業を行うということである。それを試みた結果、物理の授業で具体的な運動から法則に進んでいくうちに、学生の日本語力もさらに上がってくるため、運動の法則についてのディスカッションに参加できる学生が増えてきて効果的であった。ただ、電磁気の内容に進むのはやはり 3 学期になってからだった。

この頃には学生の専門分野が多様化し、大学の学科も多様化、細分化してきた。そのような状況下で学生の大学進学を考えると、学生の専門に対して物理は何をどこまで教えればいいのかと、さらに検討を迫られるようになった。

## 3. 考え方を中心にした教材（1990 年代～現在）

### 3-1 新教材『留学生のための物理 I』

留学生の物理教育としては方程式の計算ができることも重要であるが、学生の専門によってその重要性は異なる。多様化した専門分野に対応できるようにするためには、どんな分野にも役に立つ考え方を中心にした教育が大切であると考えようになった。先に述べたように、これまでの試行錯誤の中から、具体的な運動から法則へ進む方法が効果的であるとわかってきた

ので、そこに考え方を中心にした教授法を取り入れるという指導方針で『留学生のための物理 I』とそれに付随した『留学生のための物理 I 問題集』を教材として開発した。図 4 はそれらの教材の表紙である。

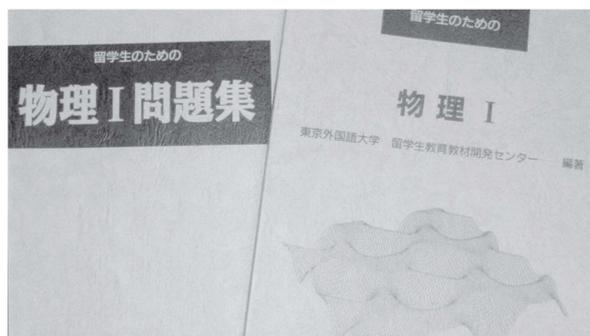


図 4 考え方を中心に開発した物理教材 表紙

| も く じ             |       |
|-------------------|-------|
| 第 1 章 運動          | 1     |
| 1. 等速直線運動         | 1     |
| 2. 等加速度直線運動       | 5     |
| 3. 放物運動           | 11    |
| 4. 等速円運動          | 20    |
| 5. 単振動            | 24    |
| 第 2 章 波動          | 29    |
| 1. 波動方程式          | 29    |
| 2. 波の性質           | 34    |
| (1) 波の独立性         | 34    |
| (2) 波の重ねあわせの原理    | 35    |
| (3) 干渉            | 40    |
| (2) ケプラーの第 2 法則   | ..... |
| (3) ケプラーの第 3 法則   | ..... |
| 2. ニュートンの運動の法則    | ..... |
| (1) 運動の第 1 法則     | ..... |
| (2) 運動の第 2 法則     | ..... |
| (3) 運動の第 3 法則     | ..... |
| 3. ニュートンの運動の法則の性質 | ..... |
| 4. 人工衛星と月         | ..... |
| 5. 万有引力の法則        | ..... |
| 第 4 章 仕事と力積       | ..... |
| 1. 力と時間—力積        | ..... |
| 2. 力と変位—仕事        | ..... |
| 第 5 章 力学的エネルギー    | ..... |

図 5 『留学生のための 物理 I』 目次の一部

また、図5に目次の一部を示す。初期の教科書の目次(図1)と比べ、文字を大きくし、日本語に慣れていない留学生にとって漢字が識別しやすいようにしてある。

本書の配列は、第1章で1次元の運動から2次元に広げ、第2章で3次元につなげるという考え方になっている。運動も波動も学生たちは、ある程度具体的なことがイメージできる内容であり、日本語でのディスカッションが可能である。波動については、一部の学生が国では学習していないこともあるが、定性的なことを中心にし、数学的な扱いをしても物理的に光学や波動の専門的なことまでは踏み込まないようにすると、それほど大きな問題は無い。また、第3章では力学の法則について、ケプラーやニュートンの運動の法則を扱い、特に力とは何かということを考える。第4章は力と時間や変位との関係について考え、最後の第5章ではエネルギーと力の関係を考える。

図5の目次は、一見すると高校の内容と同じものと受け止められるかもしれない。ここで、学生にはこれからの授業は考え方を中心にしたものであることを伝える。しかし、この趣旨を学生たちに理解させるのは難しい。既に国で勉強してきたという考えが先に立ってしまう学生もいるからである。

さらに、留日センターでは非漢字圏の学生が多いことから、付録として漢字の書き方を大きく示すことによって、難解な漢字学習を助ける工夫をしている。その一部を図6に示す。

| 漢字の書き方 |       |                     |
|--------|-------|---------------------|
| 第1章    |       |                     |
| P.1    | 第 だい  | ㇀ ㇁ ㇂ ㇃ ㇄ ㇅ ㇆ ㇇ ㇈ ㇉ |
|        | 章 しょう | ㇐ ㇑ ㇒ ㇓ ㇔ ㇕ ㇖ ㇗     |
|        | 物 ぶつ  | ㇘ ㇙ ㇚ ㇛ ㇜ ㇝ ㇞ ㇟     |
|        | 体 たい  | ㇠ ㇡ ㇢ ㇣ ㇤ ㇥ ㇦ ㇧     |
|        | 運 うん  | ㇨ ㇩ ㇪ ㇫ ㇬ ㇭ ㇮ ㇯     |
|        | 動 どう  | ㇰ ㇱ ㇲ ㇳ ㇴ ㇵ ㇶ ㇷ     |

図6 漢字の書き方

### 3-2 授業の実際

次に、具体的にどのように授業を行っているか、少し紹介する。

例えば、目次の第1章にある「運動」について、学生とディスカッションする。「運動とは何ですか」と質問すると、学生は既習の日本語を使って「動くこと」と答えてくる。そこで、さらに「動くとはどんなことですか」と質問する。このようなことを何回か繰り返すうちに、学生には質問の意図がだんだんはっきりしてくる。運動ということについて、学生たちはわかっ

ているつもりでいるが、言葉で物理的に正しく説明することには慣れていない。もちろん数学的に扱えば学生にとっては、何も問題の無いところであることは言うまでもない。

また、図7に示した放物運動のところでは、「放物運動する物体はどんな面を動くのですか」と質問する。初めは何を聞かれているのかわからず驚いているが、そのうちに一人くらい反応がある。「鉛直面」、その答えにつられ、ほかの学生たちも自分で考え始めて次第にディスカッションに加わってくる。そこでさらに、「どの鉛直面ですか」と質問を続ける。

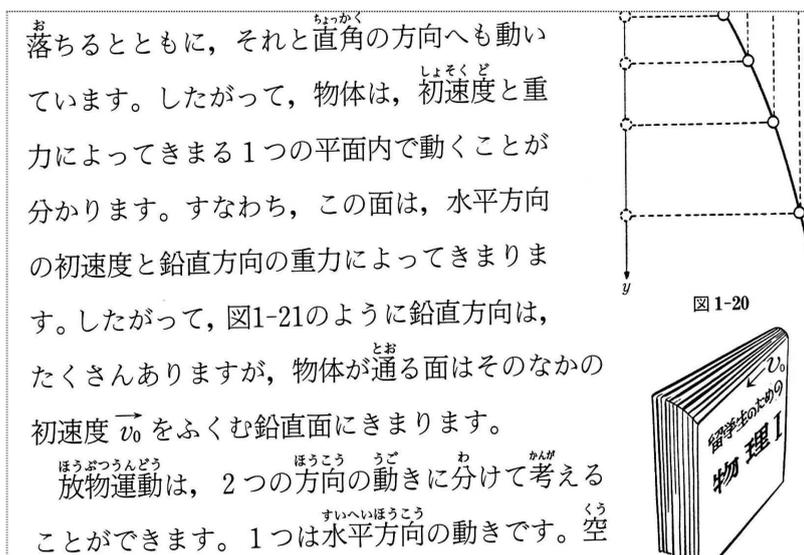


図7 放物運動

「物理 I」ではニュートン力学を中心に指導しているが、一部の学生たちは現代物理についても学習している。第3章の3では、この法則の限界について考え、ディスカッションする。そうすると、一部の学生はこの範囲を超えたところまで議論が進んでいく。そのため、ニュートンとアインシュタインの考え方の違いについても、まだ学習していない学生たちの負担にならないように簡単に議論している。

物理の考え方を中心にした教育は、学生にその旨を理解させることが難しく、指導する側に体力、気力が満ちていない場合には授業での迫力に欠け、学生につまらない授業であるという印象を与えてしまうので油断できない。考え方を中心にした授業はその時には理解できなくとも、将来、卒業研究や社会で仕事をするようになった時にそれとは気が付かないうちに少し役に立っているかもしれない。

### 3-3 漢字や用語の扱い

本書では漢字を普通の日本人が使うように用いている。これは留学生が日本語の時間に学ぶ

漢字の進度に合わせたものだけを用いて表記しては、1年後に物理の本が読めるようにならないからである。この考え方は千葉大学の教材でも同様であったと思われる。しかし、漢字だけでは読めないのが、漢字の上にルビを振り、学生が分からない言葉を辞書で引いたりできるように配慮してある。この方法であると、ルビの部分の隠した状態で学生は読み方の練習をすることもできる。留学生ができるだけ早く漢字に慣れるように漢字表記にしてあるのだが、日本語の教科書とは違い漢字だらけであるため、夏休み前にこの本を受け取った学生たちはパニックに陥るようだ。しかし、この本を使った学生からは、漢字が何回も出てくるたびにルビを振らなくてもよいという声もあがっていて、教材開発上の貴重な参考意見となっている。

| <small>たいせつ ことば</small><br><b>大切な言葉</b> |                  |         |
|---|------------------|---------|
| 放物運動(ほうぶつうんどう)                          | parabolic motion | 拋物(线)运动 |
| ボール                                     | ball             | 球       |
| な(投)げる                                  | throw            | 扔       |
| 曲線(きょくせん)                               | curve            | 曲线      |
| えが(描)く                                  | to draw          | 画       |
| と(飛)んでいく                                | fly towards      | 飞去      |
| いままで                                    | until now        | 迄今      |

図8 大切な言葉

また、図8に示したように、この本で自習ができるように、節ごとに「大切な言葉」として、専門用語だけではなく一般的な言葉にも漢字表記の日本語、英語訳と中国語訳を付けてある。中国語を付けたのは、(留日センターの学部進学留学生には中国や台湾からの留学生はいないが)以前は中国系の学生が多かったためである。

#### 4. まとめ

学部進学留学生への物理教育の実践を教材開発を中心として振り返ってきた。留学生たちは既に自国で高校を卒業しているので、日本の高校生と同じ教育をしては留学生に興味を持たせることができない。しかし、留学生の出身国は、東南アジアをはじめ南米、アフリカ、ヨーロッパなど世界各地であるため、国によって教育方法や内容が異なり、学生たちの教育背景は実に様々である。その上、留学生の希望する物理関連の専門分野は理科系の中でも多様化している。

そうした留学生たちに、実質的には約6ヶ月間で、日本語初級程度から大学の物理の講義が聴けるようにするためにはどのような教育をすればよいのか、試行錯誤の連続であった。そして、考え方を中心にした教育をしていくことに思い至り、それに適した教材を開発してきたの

である。

## 謝辞

本稿作成に当たり、東京外国語大学留学生日本語教育センター日本語担当非常勤講師の鈴木孝恵先生の後押しにより完成したものであり、鈴木先生には種々ご教示いただきましたことをここに感謝申し上げます。

## 参考文献

- ・東京外国語大学史編纂委員会（1999）『東京外国語大学史』独立百周年（建学百二十六年）記念」東京外国語大学
- ・矢田富三・高田安之（1962）『留学生課程 物理学 第1学年用』文部省調査局編
- ・高田安之・田畑広司（1964）『留学生課程 物理学』文部省調査局編
- ・『留学1年目の教育のあり方—科学教育の視点から—』（2003）東京外国語大学留学生日本語教育センター・シンポジウム講演集
- ・道脇綾子ほか（1991）『留学生のための「物理Ⅰ」』及び『留学生のための「物理Ⅰ問題集」』東京外国語大学留学生教育教材開発センター編

Developing Materials for International Students Matriculating into Scientific Fields  
--Primary Focus on Physics Materials--

Ayako Michiwaki

Abstract:

Through trial and error, the author has been teaching physics to international students. This paper discusses the development of physics materials based on these experiences.

Since the international students in this program are high school graduates, there is no need to present the type of information taught in Japanese high schools, as those who have already learned it are not receptive to such repetition. However, students come from a wide variety of countries, beginning with Southeast Asia and including South America, Africa, Europe, etc. Accordingly, their background and the education they've received differs dramatically. On top of that, even though these are prospective science majors, the fields they intend to major in also vary greatly.

How to get these international students with vastly different backgrounds and beginner level Japanese, in roughly six months, to be able to follow university level physics lectures has been the strongest consideration in the development of these materials. The answer has been to focus on educating learners mainly on the broad concepts and basic principles they will encounter. Therefore, the materials that have been developed focus primarily on the language necessary for understanding the basic principles of physics.