

物理学の基礎概念形成とフレッシュマン教育

山本 健治・狩野 勉・宮川 和也
宇都宮 晃・中川 生一

岡山理科大学教養部

(1993年9月30日 受理)

§1. はじめに

物理学を学ぶ高校生たちの多くが、いよいよ大学受験間近という頃になると、試験の成績では際立った向上を示す。しかし、意外にも同じ生徒たちの中には、一つの重要な概念「物体に力積がはたらくと、そのぶんだけ運動量が増加すること」との関連において、運動の法則を十分には理解していない者がいる。彼らの目に二つの概念は全く関係を持たない別々の法則として映っているらしい。これは教師を落胆させるが、果たして受験勉強の重圧による単なる過渡的な現象として見過してよいだろうか。

現在の大学の新生は計算問題はある程度できるが、基礎的な物理概念を問う説明問題はまるで解けない¹⁾という。アメリカの大学でも、入門物理学を履修した段階の調査では、やっと20%の学生が基礎的な物理法則を概念として十分に把握する能力を身につけたに過ぎない²⁾らしい。講義や実験で顔を合わせる学生たちは、「いま、200kgの横綱と40kgの子供が正面衝突したなら、どちらが大きな力を受けるか？」という質問に対して正しい答えを返してくれるだろうか。

高校生や大学生の間では物理は敷居が高いと囁かれている。高校生や大学生には、その計算や論理の面倒さのゆえに物理を敬遠する傾向が強い。物理学の法則や概念は、いわゆる理工系諸学問の基礎知識として不可欠なものであるが、物理嫌いの大学生は理工系の大

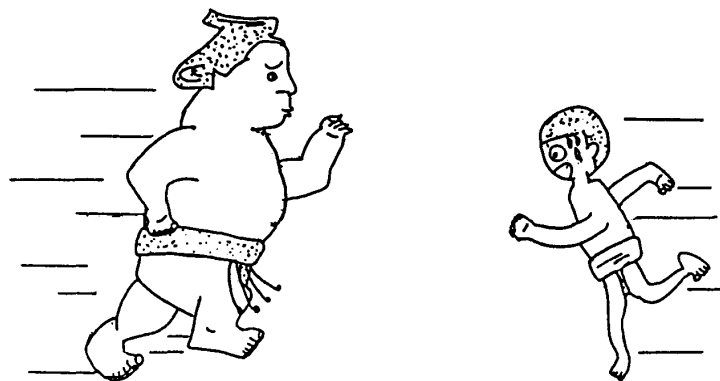


図1 「力積」の「作用と反作用」

学にも意外と多い³⁾。物理学を専攻しない学生の中には、専攻科目が好きというよりも、単に物理から離れたいから……という理由だけで学料を決めた者もいる。

いま、高校から大学初等教育段階にかけての物理教育は大きな転機⁴⁾を迎えようとしている。その意味について、ここでは多くの具体的事例を述べる紙数はないので、ごく簡単にふれる程度にとどめる。すなわち、理工系コースのある大学では、基礎教育の確立を目標とする視点が切望されている。広く児童・生徒の理科教育⁵⁾は大学教育の中身とも関わりがあり、我々としても安閑としてはいられない。それは、例えば研究者の養成や若手確保に関心を払うとするならば、そのためには堅実な基礎教育が最重要であり、延ては、物理に興味を持つ高校生を増やす努力が必要なこと⁶⁾から明らかである。大学初等物理学の講義内容や実験テーマは、昔の理学部物理学科のものをほとんどそのまま踏襲している。そのテキストも、60—70年代の頃からあまり変わっていない⁷⁾ようである。むしろ、文科系コースのための物理学テキストのほうが、科学の見方、考え方という角度から工夫がなされてきたように思える。大学理工系コースの基礎物理学教育の内容に関する研究⁸⁾は急務である。

「運動の法則」の導入部分はどうあるべきか。第二法則と「運動量・力積」の学習過程を、同じ「慣性」と関わりを持つ基礎的概念の形成という観点から考えるとき、その細々とした内容をどのように組み合わせて学習したら効果的といえるか。あるいは「慣性力」の学習についてはどうか、など基本重視の考え方は中・高等教育段階において正しい科学概念の確立を図る意味からも重要である。この論文では、物理学の基礎概念形成という観点から、高校での力学の学習実態調査、その分析に基づく授業試案と大学理工系コースでの基礎教育を考えるための基本姿勢について述べる。さらに、今後の検討を裏もつ多い広範なものとするために、物理学を専攻しない学生のための物理学基礎実験へのパソコン導入の成果も紹介する。

新入生対象の教育においては、高校の学習内容との間に断絶が生じないように配慮しなければならない。以下で考える仮想的指導案が物理教育の実情を考える契機となり、大学初等教育段階において、物理概念の形成を意図する際の参考資料になれば幸いである。

§2. 力学分野の学習の満足感？—— アンケート調査から

私たちは教材を準備するとき、物理概念の形成には特に気を使う。参考のため、放送番組教材を選択するとき重視される基準⁹⁾を表1に示す。これは実はマスメディアによる教育

表1 授業における教材選択基準ベスト4

- | |
|-----------------------------|
| (1) 生徒の興味を引くような工夫がしてあること。 |
| (2) 最新の情報や研究の成果が盛り込まれていること。 |
| (3) 内容が正確で信頼できること。 |
| (4) よく取材されていて資料が豊富なこと。 |

に限らず、授業全般の教師の視点を広く反映している。一方、学生自身は高校で物理をどのように学習してきたと考えているだろうか、学習は彼らにどの程度の満足感をもたらしたか。また、大学での講義や学生実験に何を期待しているだろうか。

この四半世紀の間に物理の教科指導に関するいくつかの重大な事実が明らかにされた。計算問題中心の大学入試、おもにその影響を受けて、さながら便利な問題解説書か何かのようになった高校の教科書、そして中等教育課程での不十分な実験・観察活動……等々を考えると、高校生たちの物理概念形成の条件は決して楽観できるものではない。物理履修率¹⁰⁾が年々減少する傾向にあることはこのような事情とも関係がある。大学教育が高校までの学習の実態と無関係ではありえないことは、次のような例からも理解できる。物理教師や研究者の育成ということだけ考えるならば、学習の過程ですんなり理解できずに苦しんだ個々の経験は、時として将来の職業のために重要な資質を育むこともある。しかし現実には“物理離れ”は進行中である。小・中学校における物理系教員も急減しかねない。科学に情熱をもてない児童・生徒の存在は進歩を妨げる重大な問題¹¹⁾の一つになりつつある。前節で述べたような現実の状況を踏まえ、広い視野をもって、多様な将来の可能性を秘めた若者にふさわしい大学教育を考えて行かねばならない。

このような観点から、私たちの講義や演習を履修することになった新入生を対象に、高校での学習の満足度¹²⁾を調査した。調査方法には本人の気持ちをそのまま引き出すアンケート方式を採用し、教科書に載っている参考図(図2)を単元別の各問に添えた。調査対象の内訳は物理系：化学系：生物系の人数比で約6：9：1(理・応物73名、化学146名、生化学26名、工・電子79名、応化85名、合計409名)である。生物化学科、応用化学科以外は物理学を必修としている。調査は平成5(1993)年5月下旬に実施した。

平成6(1994)年度から始まる新指導要領は物理的思考力を養うための実験・観察をさらに重視するねらいを打ち出した。大学入試も3年後から変更を余儀なくされる。この過

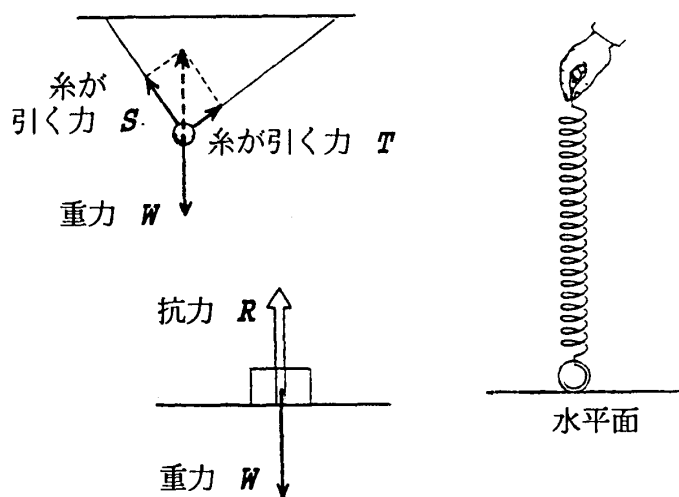


図2 参考図の一例：「力のつりあい」

渡期にあたり大学教育を行う側が受ける側の実態を正しく把握するのが望ましい。今後は調査の内容と対象範囲を拡大し、調査の時期を年度初めに定着させて、実態の推移を年々追跡していくとよい。以下にアンケートの内容と結果を整理した。初めに回答の全体状況を示す。以下に掲載した各問いの選択回答の割合（％）は小数第一位を四捨五入したものである。参考のため、問(7)以降には“満足度”という指標を添えた。これは、集団としての理解の程度を加重平均したもの： $(5A + 4B + 3C + 2D + E) / 5$ である。また、全体像を図3-1に積み重ねグラフで示した。

入学時（'93年全体）

- 問(1) あなたは理科が好きですか、それとも嫌いですか。
 {好き=68%, 嫌い=5%, どちらとも言えない=26%}
- 問(2) あなたは物理が好きですか、それとも嫌いですか。
 {好き=26%, 嫌い=38%, どちらとも言えない=37%}
- 問(3) あなたは将来、学校の教師になるつもりがありますか。
 {ある=13%, ない=63%, まだわからない=25%}
- 問(4) 前問で「ある」と答えたあなたが考えている教師は次のどれですか。該当するものに○をつけなさい。{小学校=6%, 中学校か高等学校=48%, 理科=41%, 数学=2%, その他=3%}
- 問(5) 前問で「理科」と答えたあなたは次のどの分野を担当したいと思いますか。該当するものに○をつけなさい。{物理=19%, 化学=52%, 生物=18%, 地学=11%}
- 問(6) あなたは「理科I（物理編）」の授業を受けましたか。{受けた=92%, 受けなかった=8%}
- 問(7) 「理科I（物理編）」の授業の印象を次の中から選びなさい。……………満足度59
 {A：大変よく理解できたと思う。……………7%}
 {B：よく理解できたと思う。……………20%}
 {C：ふつうの理解の程度だったと思う。……………43%}

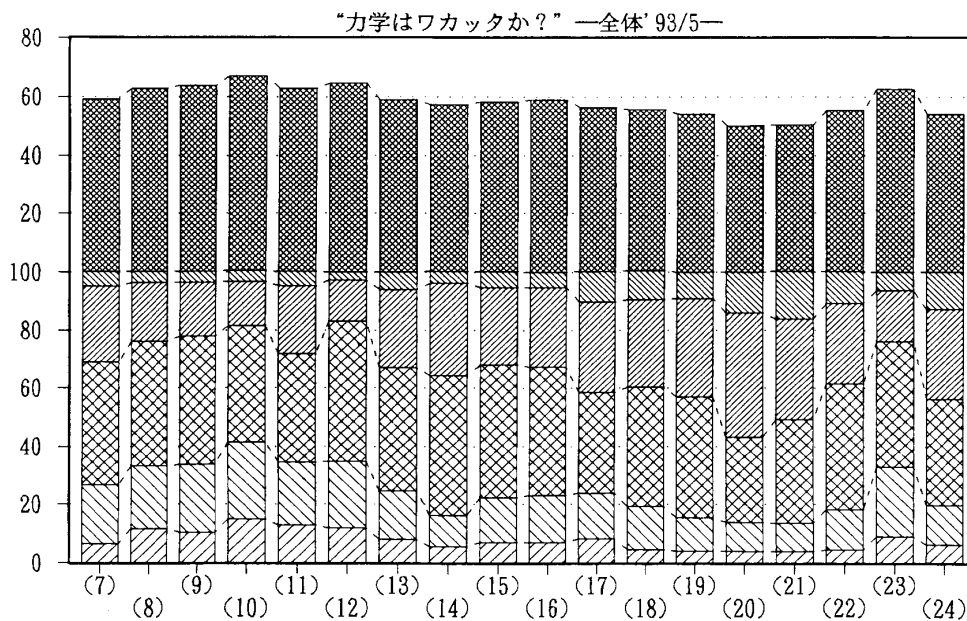


図3-1 単元別に見た学習の満足感 (1993.5；全体)
 □ A (%) ▨ B (%) ▩ C (%) ▪ D (%) ▫ E (%) ■ 満足度

{D:あまり理解できなかったと思う。………26%}

{E:まったく理解できなかったと思う。……… 5%}

以下、質問の主旨と選択肢は本問と同じ。

問(8) 「平均の速さと瞬間の速さ」… {A=12%, B=21%, C=43%, D=20%, E= 4%} 満足度63

問(9) 「速度の合成と分解」…………… {A=10%, B=23%, C=44%, D=18%, E= 4%} 満足度64

問(10) 「直線運動の速度と加速度」… {A=15%, B=27%, C=40%, D=15%, E= 4%} 満足度67

問(11) 「落体(放物運動)の速度と加速度」

…………… {A=13%, B=21%, C=38%, D=23%, E= 5%} 満足度63

問(12) 「力とそのはたらき」…………… {A=12%, B=23%, C=48%, D=14%, E= 3%} 満足度65

問(13) 「力のつりあい」…………… {A= 8%, B=16%, C=43%, D=27%, E= 6%} 満足度59

問(14) 「慣性の法則」…………… {A= 6%, B=11%, C=48%, D=32%, E= 4%} 満足度57

問(15) 「運動の第二法則」…………… {A= 7%, B=15%, C=46%, D=26%, E= 6%} 満足度58

問(16) 「作用・反作用の法則」…………… {A= 7%, B=16%, C=44%, D=27%, E= 5%} 満足度59

問(17) 「仕事と力学的エネルギー」… {A= 8%, B=15%, C=35%, D=31%, E=10%} 満足度56

ここまでが必修「理科I」、次の問から選択科目「物理」です。

問(18) 「等速円運動」…………… {A= 4%, B=15%, C=41%, D=30%, E=10%} 満足度55

問(19) 「慣性力」…………… {A= 4%, B=11%, C=42%, D=34%, E= 9%} 満足度54

問(20) 「単振動」…………… {A= 4%, B=10%, C=30%, D=43%, E=14%} 満足度50

問(21) 「万有引力」…………… {A= 4%, B=10%, C=36%, D=34%, E=16%} 満足度50

問(22) 「運動量と力積」…………… {A= 4%, B=14%, C=43%, D=28%, E=11%} 満足度55

問(23) 「運動量の保存」…………… {A= 9%, B=24%, C=43%, D=17%, E= 6%} 満足度63

問(24) 「はねかえりの係数」…………… {A= 6%, B=13%, C=37%, D=31%, E=13%} 満足度54

最後に、以下の内容に関して、あなた自身の考えを自由に書きなさい。

問(25) あなたが現在抱いている「物理」全般の印象はどのようなものですか。

問(26) いままで物理に関係したことで大変おもしろいと思ったこと、興味を覚えたことがありますか。

問(27) 大学での講義や実験その他で何か希望がありますか。 (以上)

生徒・学生が物理に興味を持つのは、自分に関わりがあると思えるときである¹³⁾ことが問(26)の回答からわかる。自然科学への興味には宇宙飛行、隕石、恐竜など、社会における科学ブームの影響も要因となる。問(27)に関して、物理系の学生の中にもやさしい物理学実験をたくさんやってみたいという希望がある。非物理系の声には講義中の最も簡単な演示実験を希望するもの、学問の香りに触れたいというものなどがあり多岐多様である。総じて、自分で物理を理解していると思う者は「憶えることが少ない科目」だと答え、反対に理解していないと思う者は「暗記すべき公式¹⁴⁾が多くて苦勞する科目」といった意味のことを述べている。

学科ごとの調査結果は図3-2にグラフで示した。物理系の学生にとっては運動の法則、その中でも特に慣性の法則(14)が旗門であったようだ。その他の系の学生では学科ごとに傾向は違い、一律には言えないが、押並べて「力」に関する基本概念の学習全般に不満足な気分を抱いている。非物理系学科の学生にも、基本的な物理量の概念を自分のものとして学びとり、物理する楽しさを味わってもらいたい。講義では平易すぎると思われる話題でも積極的に取り上げ、可能なら講義室の演台近くに実験テーブルを置いて簡単な演示実験

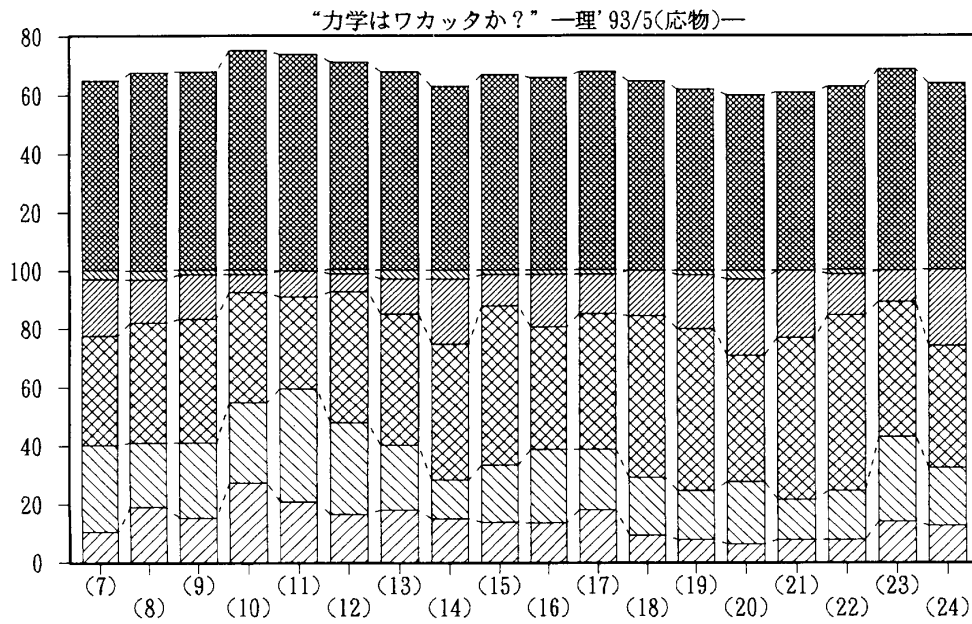


図 3-2 (a) 単元別に見た学習の満足感 (1993. 5 ; 理=応物, 必修)
 □ A (%) ▨ B (%) ▩ C (%) ▤ D (%) ▥ E (%) ▦ 満足度

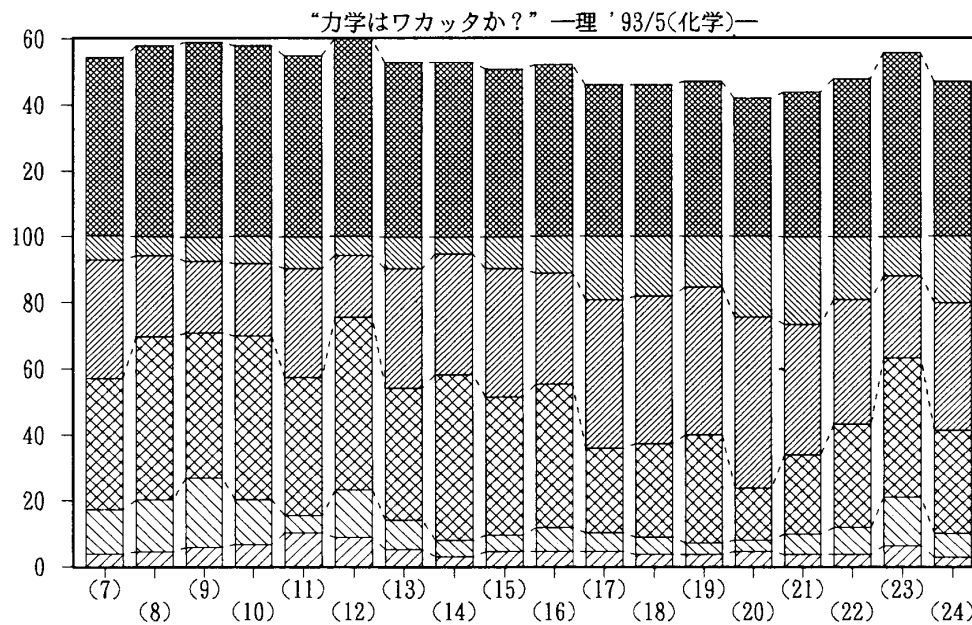


図 3-2 (b) 単元別に見た学習の満足感 (1993. 5 ; 理=化学, 必修)
 □ A (%) ▨ B (%) ▩ C (%) ▤ D (%) ▥ E (%) ▦ 満足度

を行うとか、パソコンによる動画や教育用ビデオテープを大いに活用したい。

さて、大学生のためのテキストの多く¹⁵⁾は運動量を運動の法則のところで説明している。もともと、ニュートン自身は運動の第二法則を

$$\frac{d}{dt}(mv) = F \tag{2.1}$$

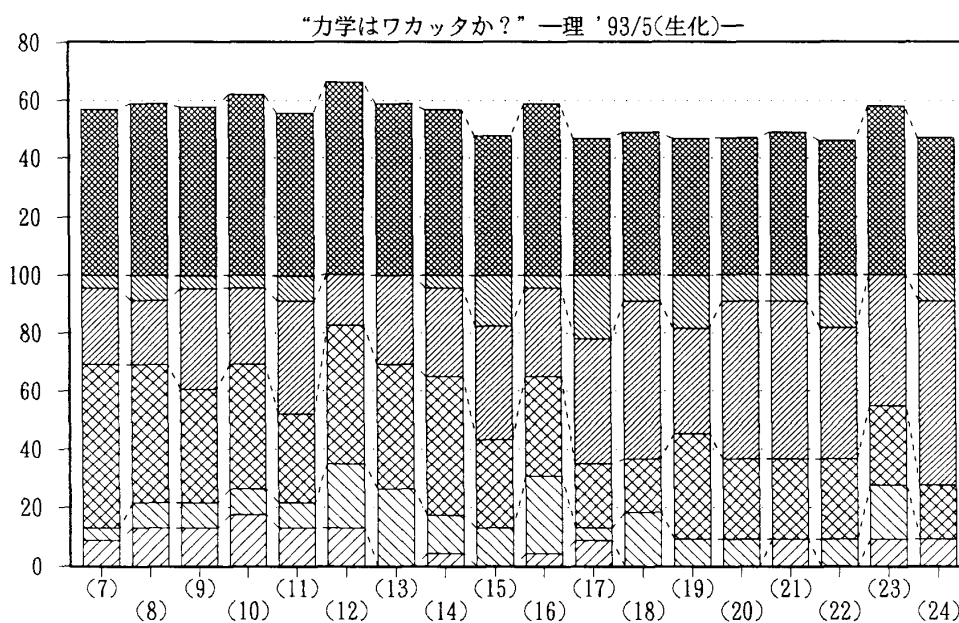


図 3-2(c) 単元別に見た学習の満足感 (1993.5 ; 理=生化, 選択)

□ A (%) □ B (%) □ C (%) □ D (%) □ E (%) ■ 満足度

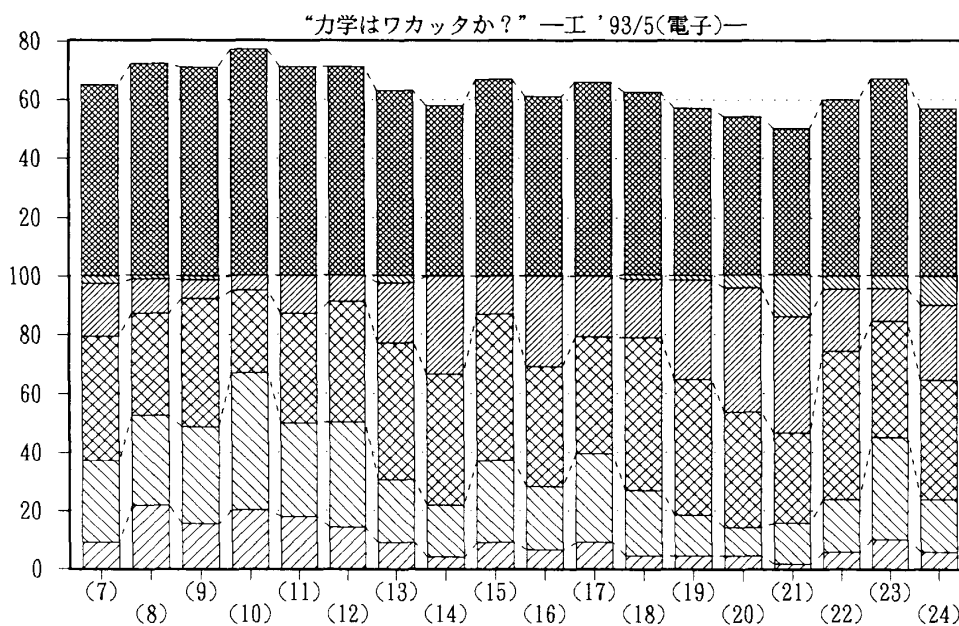


図 3-2(d) 単元別に見た学習の満足感 (1993.5 ; 工=電子, 必修)

□ A (%) □ B (%) □ C (%) □ D (%) □ E (%) ■ 満足度

という形で述べていた。当時、運動の量¹⁶⁾は「速度」とはっきり区別されておらず、直観的に理解しやすかったのである。だが、「運動量」は「力積」と組み合わせて衝突現象の探究の過程で学習したほうが効果的であるため、運動の法則と切り離し、後の選択物理¹⁷⁾で学習することになっている。「慣性質量」という概念も加わり、第二法則の学習指導は最も難しい部類に属する。正しい学習態度を身につけていない生徒が誤った（たとえば、物理=計

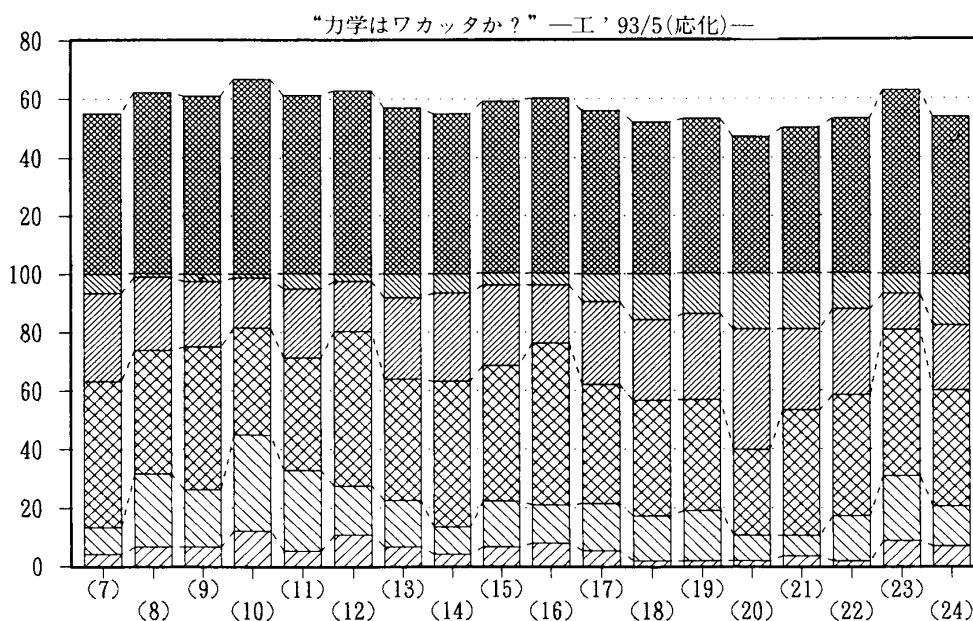


図 3-2(e) 単元別に見た学習の満足感 (1993.5 ; 工=応化, 選択)

□ A (%) □ B (%) □ C (%) □ D (%) □ E (%) ■ 満足度

算=嫌い, という) 学習観を抱くのは好ましいことではない。運動の第二法則の取り扱い方をもっと発見的で, 美しいという感動を呼び起こすようなスタイルにできないものだろうか。

力学の最も基本的な部分はすべて「力」に関係のある概念が取り仕切っている。力はベクトル量で, 時間的変化を伴うこともあり, まさに抽象的な物理量の代表格である。まず, 「力のつりあい」や「作用と反作用」を多くの簡単な事例について学習するのは, 身近な例を平易に……の意味合いからである。運動の法則の学習後も, しばらくは遠隔力(万有引力)とか時間的に変化する力(単振動)を避け, 物体が机を押す力やその反作用などの接触力をまず取りあげるのは理に適っている。

選択物理の「運動量と力積」のところでは, 式(2.1)と同じ内容を, 微小量を用いて

$$m \cdot \Delta v = \mathbf{F} \cdot \Delta t \quad (2.2)$$

と書きかえ, 「運動量の変化=外力による力積」という関係が, 実は「運動の法則」から得られるものであることは説明される。なお, 撃力は瞬間的な大きさの変化を伴う特別な力として, 第二法則のところでは扱う平坦な力とは区別する教育上の理由がある¹⁸⁾。撃力の特殊性ゆえに第二法則の最初の学習においては「力積」を持ち込まないという教育方針にも一理あるので, $\mathbf{F}-t$ 図を用いて撃力が時間変化するものであることを説明し, それにも拘わらず平均の力 $\bar{\mathbf{F}}$ を考える意味があるという論点に立つ慎重さが必要である。

しかし, 今や小学校にも衝突現象が取り入れられる時代であることは直視すべきである。理科 I の調査項目(14)–(16)に関連した, 物体にはたらく「外力」の学習段階で, 早くも消化

不良を起こす生徒は多い。速度の時間変化を積極的なテーマと考えることに目覚めていないうちから、唐突に「運動の第二法則」の学習に入り、「質量」を因数化して「加速度」、「外力」と合わせた3つの量の数量的関係を考えさせることが難解さを増幅させている。そこで、単元⁽²³⁾「運動量」概念に加えて、⁽²²⁾「力積」概念の一部分（エッセンス）についての早期学習を提案する。時間変化する力はその平均値で置き換え、運動量の正味の変化に重点を置く。

§3. 保存量「運動量」と「力積」の導入に関する考察

およそ物理学を学ぶに際して、いったい何が基本的であるか、何が何の基礎になっているかということほど重要なものはない。それは裏を返せば学習の順序・段取りが大切ということであろう。

運動の第二法則の学習に入るとき、予備学習として「運動量と力積」に関する簡単な実験を試みる。これは正面からの二体完全非弾性衝突の観察による「運動量」の発見という簡単なものである。あらかじめ、力のつりあい・運動の第三法則・第一法則⁽¹⁹⁾を多くの事例により学習しておく以外に特別なことは必要としない。

生徒には必ずしも、速度の変化を調べようとする自発的な学習の意欲が内在するわけではない。学習を魅力的なものとするためには、教師自身も含めて「美しい！」という感動がなくてはならない。幾分おおげさな表現になるが、第二法則の学習に先だち、速度と質量が未分化なままの重要な物理量を感動と共に発見する過程には大きな意味がある。「慣性」の概念と深く関わる「運動量」の存在に気づくことが、その後の効果的な学習につながるのである。“わくわくする”衝突実験・観察活動は、運動の第二法則⁽¹⁵⁾の学習への導入過程としての大切な役割を果たす。

もしも慣性の法則に加え、運動量という重要な物理量についても理解していたなら、横綱と子供が正面衝突する例について、解答者は力（力積）の作用・反作用の概念を正しく用いたのではなかろうか。なお、生徒が独自に抱えている発達途上の概念（自成的概念）が正しい科学的概念へと発達するためには、正しい概念の学習と並行して発達途上の概念を自ら検討する過程を踏まねばならない。そうしなければ、自成的概念の全てまたはその一部はいつか回復する⁽²⁰⁾という。このことは、大学生にも該当するのではないだろうか。解決指向型ではなく、過程指向型の指導を必要とする所以である。

運動の三法則だけを順序どおりに並べると、整然として論理の通りもよい。だが、教師が理論を述べやすいことは、逆に物理に馴れていない者にとっては窮屈さを感じやすいということでもある。ここは理屈ぬきに「アレッ！」と思って知らぬ間に引き込まれていく段階的な理解の過程が望ましい。したがって、第二法則の学習では「運動量」の定義を抱き合わせにする。生徒は日常生活における経験から物体の運動には「いきおい」があることを知っており（図4）、スポーツ観戦や直接の競技経験を思い起こしてみれば「いきおい」

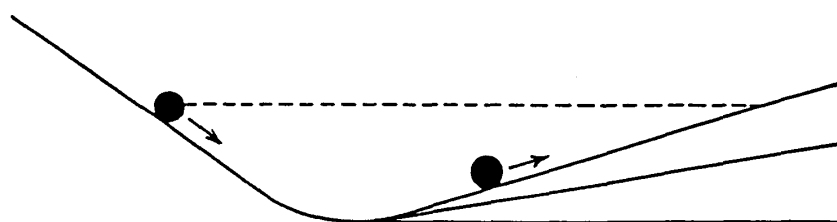


図4 慣性の法則（ガリレイ）

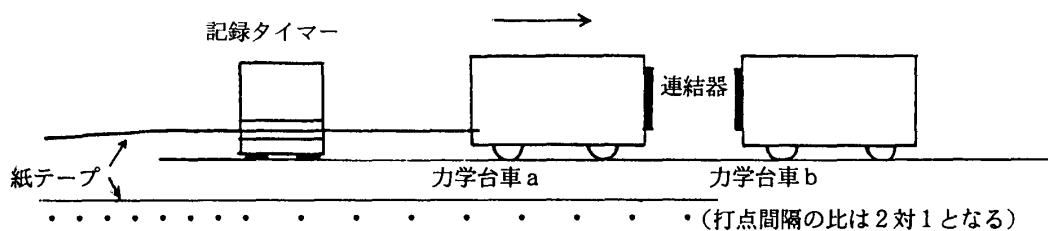


図5 視聴覚に訴える魅力（完全非弾性衝突と紙テープ上にできる打点）

には質量と速度が関係することも理解できよう。

図5のように、静止中の力学台車 b に向かって同質量の力学台車 a を完全非弾性的に衝突させ、記録をとる。この時点では相互作用の時間的変化の詳細は不問（ブラックボックス）である。当面必要なのは、「速度（運動量）がどれだけ変化したか」である。自分の手で衝突させ、時間を置かず数量的に調べることで印象は強まる。こうして生徒たちは重要な保存量を発見する。このような探究の過程で、慣性質量・力・加速度の間の量的な関係を推測する機会も生まれる。その後、運動の第二法則の学習に入るというプロセスには無理がない。

地球のまわりを回る人工衛星の中、地中深く掘った井戸に沿って自由落下する実験室の中などでは重力質量は計測できない。宇宙船の中で飛行士は健康管理のためにどのような方法で自分の体重を測定するのだろうか。しかし、遠い宇宙の出来事を想像しても単なる想像に終わるだけかも知れない。目前にいる人の「慣性質量」は、なめらかな水平面上でローラースケートを付けてもらい、バネばかりのフックを懸けて、静止した状態から1秒間だけ引いて1 m/sの速度になるような一定のバネの弾性力の大きさである。力学台車の衝突を詳細に観察して得られる質量の概念は、これと同じものであることが、生徒に（私たちの学生にも）理解できるだろうか。

次に台車 a, b を別々に考察する。運動の第二法則の学習を抽象的なものと思わせてしまう要因の一つに、「力」が物体にとっては「外力」と認識させる環境づくりの不十分さがあげられる。アリストテレス的な運動観から脱却できない生徒は意外と多い。力の作用・反作用に加えて、「内力」と「外力」の違いを考える手間も省くことはできない。先の衝突実験では台車 b が外力による「力積」の作用を受けたため、その運動量が変化した

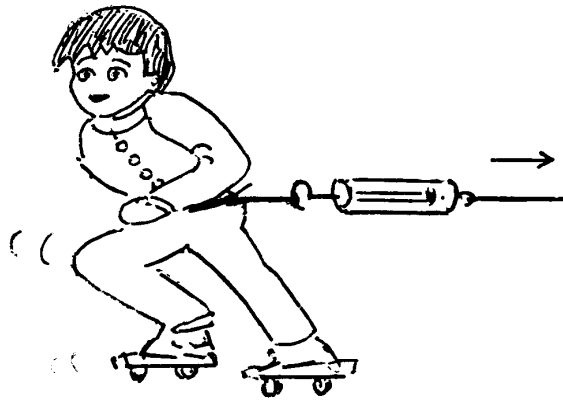


図6 慣性質量の測定

という認識を確実なものにしたい。

台車 b が力積を受けたために動きだしたことが理解されるだけで、3つの物理量の間の数量的かつ抽象的な関係を検証する動機づけは達成される。外力（衝突による撃力）の時間変化には触れるが、様々な衝突過程や複雑な現象の考察には深入りしない。「力積」と「運動量の変化」の比例係数が1になることは、後で力の単位として1Nを採用するときには了解される。「力」と「時間」が運動量の変化を引き起こしたというイメージは運動方程式の学習の素地として必ず生かされるはずである。

§4. 慣性の概念と関連づけてとらえたい「慣性力」

慣性と関係の深いもう一つ概念に「慣性力」がある。教科書では通常この「見かけの力」は慣性と関連づけることなく導入され、「観測者の立つ座標系」という考え方は平均的高校生にとっては難解なイメージを与えている。時間をかけて丁寧に学習すべきというのが正論だが、抽象論は拒否反応を生むという警戒から、とかく中途半端な記述になりやすい。しかし安易に「慣性」の概念で止めてしまう訳にもいかない。教科書執筆者の気持がわかるような気もする。ここでは教科書とは別の観点から考察してみよう。

さて、まず教室では図7のような慣性の法則の復習の機会を設定する。加速度の概念の導入用に編集された教育用ビデオテープ²¹⁾を利用してもよいが、5分もあれば演示実験はできるだろう。次に、図8に示すように、加速している電車内の乗客[B君]になったつもりで、運動する小球または一定角度傾いて静止した振り子を考える。

A君の理解は「慣性の法則」の域を出ないから、「慣性系」と「非慣性系」の違いなど思いも寄らないだろう。慣性の法則を理解することで満足しているならば、それは、いわば観測者の立場の違いを超越しているので、観測者B君の立場と比較する有り難みはない。これは教科書を消極的に利用する考え方である。

ところが、B君は自分に対する小球の加速度を a' としたとき、運動方程式

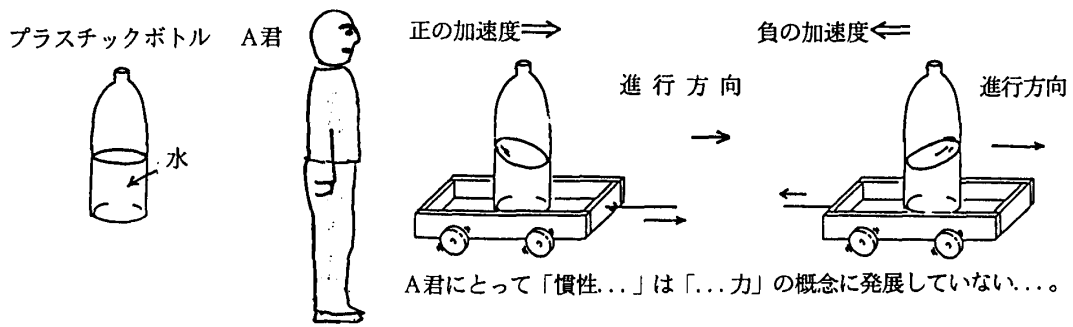


図7 慣性の法則を思い浮かべながら観察している [A君]

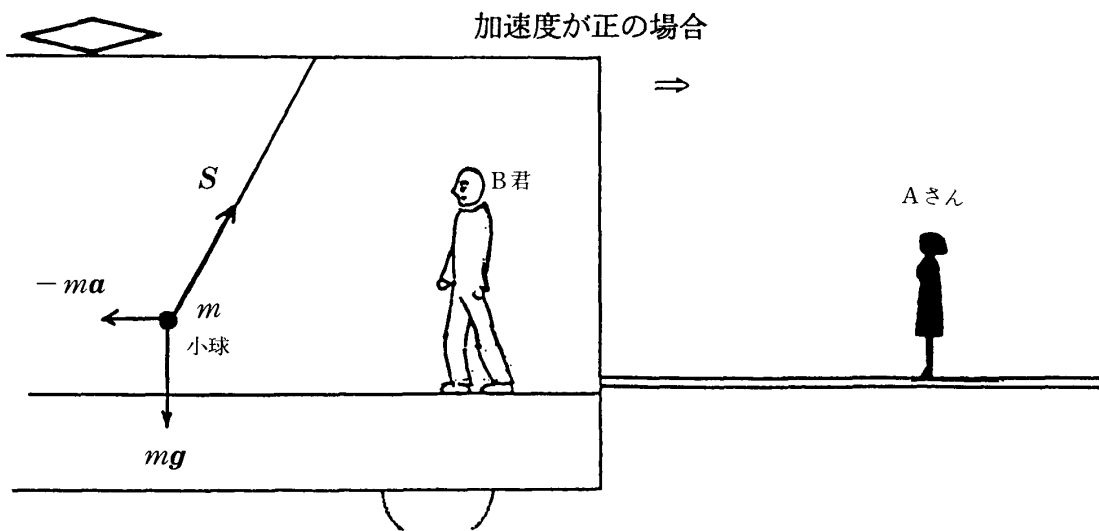


図8 電車内で傾いた振り子：[B君]が観測する慣性力と[Aさん]が考える運動方程式

$$ma' = S + mg + (-ma) \quad (4.1)$$

を考える。A君(図7)の理解の程度をより高め発展させると、AさんとB君の両方(図8)の考え方を総合的に理解する立場になる。したがって、図7から図8への視点の変化を演示実験によって、二段構えで示唆する意義は大きい。Aさんの考え方は、生徒がようやく慣れ、理解しかけてきた慣性系での運動方程式

$$ma = S + mg \quad (4.2)$$

を考える立場である。小球がB君に対して加速度をもたないとき($a' = 0$)、式(4.1)は式(4.2)と同等な式になる。教科書ではふつう、 $a' = 0$ の場合に限って非慣性系に立つB君と慣性系に立つAさん[式(4.2)]との立場の違いが詳述される。しかし、 $a' \neq 0$ となると途端に難解になる。最終的には慣性系から非慣性系への座標変換という数学のお世話になるが、いったんは高度に抽象的な操作から離れて、直観的な理解に拠るほうがよい。そのため、

授業においては図8を考える前に、一度図7の水面が傾く理由を尋ねて、慣性力について考える動機を強めたい。概念の形成が不完全であっても、それを強制的に修正しないで生徒の視点に沿って、理解していく過程を大切にしながら指導したい。

紙コップ側面の穴から水が吹き出してこないことを(図9；結果を予想してから観察し)考える機会を設ける。無重量状態の一例²²⁾としての理解以上に、B君の立場で慣性力を含む力のつりあいを考えたのと同じような考察がなされるだろうか。もし、生徒がここまでの学習を十分に消化できるようなら、やや抽象的な座標変換についても正確さを失うことなく学習する段階に入れるし、そうすれば、非慣性系と慣性力との関係についての理解がさらに高められることであろう。

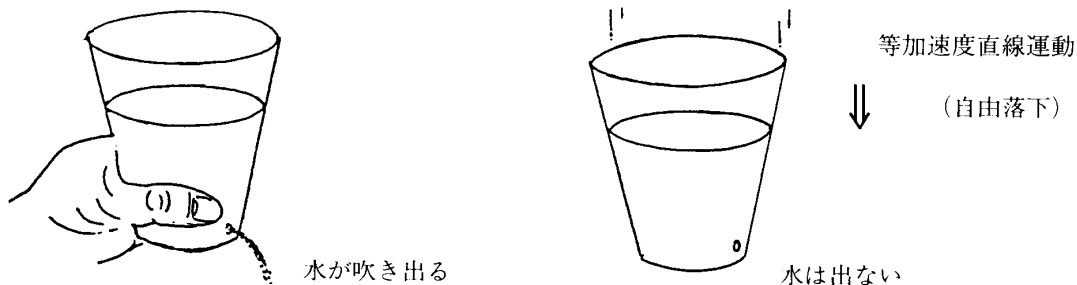


図9 自由落下するコップに固定された座標系に対して水は無重量状態である。

§5. パソコンを活用した理科教師志望者のための物理学基礎実験

ここでは物理学を専攻していない学生を対象とした実践例²³⁾を紹介する。

文部省の調査によると、平成4年3月現在における公立学校(小中高)のコンピュータ設置率は全国平均で約66%だが、操作できる教員は全体の約26%に過ぎない。まだ多くの教員がコンピュータの操作は難解であるという先入観を抱く。次々と先駆的に開発されるソフトウェアを使いこなして自分でプログラムをつくるのは一部の教員に限られている。したがって、これから教師を志望する大学生が気軽にパソコンを操作したり、抵抗感なしに初級プログラムの作成に取り組む機会を設けることはきわめて重要な意味をもつ。現在の大学生はキーボードにそれほど抵抗感を持たないようであるが、何の指導も受けず自分で積極的にパソコンを活用できる学生ばかりとは限らない。

物理学基礎実験は半期1単位もので、通常の実験テーマのほか放物運動その他のパソコン動画表示など、合わせて13テーマからなる。受講生の積極性を引き出すため、基本的に必要な学習事項を選び出し、またグラフィックスを取り入れて楽しさを強調した。実習用テキストをつくり、3コマ分の時間をかけて次のようなパソコンの指導を行った：(1)コンピュータのしくみと扱い方、(2)BASICによる四則演算と図形作成の基本；ファイルの操作；簡単なプログラミング、(3)実験処理のための最小2乗法など。

物理学実験にパソコンを導入することには二つのメリットがある。第一に、スマートな

表2 「基礎物理学実験」の感想（受講生49名）

	コンピュータについて	物理学実験について	
1	使いこなせるようになりたい 10名	楽しく実験ができたので物理に興味をもてた	10名
2	もっと利用したかった 8名	生活に無関係と思っていた物理の式が身近に感じられた	8名
3	パソコンに興味を持った 8名	興味をもてなかった	6名
4	パソコンが欲しくなった 5名	自然現象を数字や数式で表現できることに感動した	3名
5	プログラムに習熟したい 3名	身のまわりの自然現象によく目が向くようになった	3名
6	おもしろかった 3名	実験によって納得できるようになったことがある	2名

パソコン活用を通して物理学実験そのものに積極的に取り組めること。実験データ処理を最小2乗法で行う場合、大切な実験結果よりも数値の処理のみに気を取られ過ぎるのは不本意である。まずは、教員が BASIC で用意しておいたプログラムを使い。当面は unnecessary 作業に煩わされず結果の得られるまでの実験全体の流れを知ることができた。第二には、パソコンの基本操作と簡単なプログラミングの技術が身につくことである。実際、化学科や生物化学科の学生たちは間もなく放物運動などのプログラムを自分で作り始めた。

§6. ま と め

教室では工夫を必要とする場面は多い。計算問題中心の昨今の大学入試から多大な影響を受けてマニュアル化した教科書にも、教師のこぼれを通して、全体を貫く魅力あふれる物理学の思想を語らせることができよう。教科書を投げどころとしたい気持ちは教師の本音であるが、基礎概念の土台づくりという観点から、物理量どうしの関連づけを意図しながら、新しい概念の導入が生徒の目には観察による発見と見えるように配慮したいものだ。そのような工夫が物理の学習をおもしろくする。

学ぶ過程を大切にすることは新しく学ぶ概念の導入のしかたを考えると無縁ではない。アンケートの結果は、プリンシピアの頃には未分化であった「運動量」概念が初心者には平易で直観的に理解しやすいことを示唆している。高校物理の学習過程において、生徒は慣性、外力、および力積という基礎的概念の習得にはきわめて不満足な気分を抱いている。それどころか、「力のつりあい」や「作用・反作用」でさえ、多くの事例にあたって十分に考えてきたという実感をもっていないかのようだ。静力学の初歩としての「力のつりあい」に余り遅れをとることなく、早い時期にダイナミックな衝突現象の断片に（深入りしない程度に）触れて、物理の魅力の洗礼を受けてもらいたい。

さて、フレッシュマン諸君の素直な気持ちを代弁するならば、「私たち学生には興味をもつ心とサボりたい気持とが紙一重で同席しているものです——。」だから、教師は時に「わが意を得たり」と喜び、また、時には「しまった」と後悔することもある。学習はわかりやすさ、感動、さらに高度な概念への発展性という点でフレッシュマンの視点と符号するものにしたい。児童・生徒と同様に私たちの学生も、自分との関わりが強いものには興味を

表3 フレッシュマンにとって望ましい学習内容

(1) 身近である (=自分と関わりがあると思える) こと。
(2) 感動的 (または発見的) であること。
<ul style="list-style-type: none"> • 平易: 直観的にわかる。計算や論理的難解さが強調されていない。 • 美しさ: 見事だ! と思える。 • 発展性: さらに理解を高めようとする意欲がもてる。

持ちやすい。反対に、具体的な日常生活との結びつきを超えた、原理的なものは最も理解が困難である。学習概念の発達は螺旋構造的に順次すすめたい。彼らが十分な探究活動の機会を得て、基礎的な物理概念が形成され定着するような無理のない指導計画が望まれる。

私たちは学生に対する教科指導において、解決指向型に偏ることのない姿勢³⁾で臨みたい。「学ぶ者の世代の視点を尊重した過程指向型指導」という考え方は、広く科学教育を考えるうえで基本となるからである。それは、論理的思考能力の育成を重視するという点では形式陶冶²⁴⁾を包括し、さらに、行動科学の研究成果を基礎とした現場での教師の対応の姿勢²⁵⁾をも示唆する。長い目で見た場合、自然現象のしくみを理解していく科学的な態度を身に付けた物理好きの生徒・学生が育つためには、過程指向型の接し方が鍵となる。

大学初等教育に関する研究について、現状では学問的な価値を認める考え方は希薄である。したがって、高校から大学にかけての過渡的段階に位置する生徒・学生の実態を、大学教育に関係する重要な知識として積極的に位置づけようとする姿勢に対しても、当然ながら大きな評価が与えられない傾向にある。しかし、そのような積極的姿勢こそ、大学教育に関わる者すべてに必要なものである。

稿を終えるにあたり、調査に快くご協力くださった中川益生先生を初め、ご意見をお寄せいただいた多くの方々に心から感謝申しあげる。

なお、本研究は文部省科研費補助金：一般研究C「中・高等教育段階における物理概念形成過程の実践的研究」の一環として行われた。

参考文献など

- 1) 原 康夫ほか：全国理系大学生調査 (1991年4, 5月実施) に基づく見解 (総合研究A「大学における物理の基礎教育」, 中間報告1992年6月)。
- 2) R.K. Thornton [訳: 笠耐]: パリティ **8** (1993), No. 5, pp. 105—107; 主として講義と問題演習からなる伝統的な教育方法は学生の物理の学習を推進するのに効果的ではない, と著者は述べている。
- 3) 山本健治, 狩野 勉, 宮川和也, 中川生一: 科学教育研究 **17**, No. 2, pp. 84—90 (1993)。
- 4) 中山正敏: 日本物理学会誌 **48**, No. 3, pp. 209—211 (1993)。
- 5) 菊池文誠, 後藤道夫ほか: 日本物理教育学会誌 **41**, No. 2, 特集「青少年のための科学の祭典報告」, pp. 180—196 (1993)。
- 6) 松井敦男: 日本物理学会誌 **48**, No. 7, pp. 555—557 (1993)。
- 7) 平田邦男: 日本物理学会誌 **46**, No. 6, pp. 487—489 (1991)。

- 8) 鶴岡靖彦：日本物理学会誌 **48**, No. 8, pp. 652—653 (1993).
- 9) 飯森彬彦：NHK 放送研究と調査, 第38号, 7月号, pp. 46—61 (1988).
- 10) 現在の日本の高校生が「選択物理」を履修する割合は30%程度とみられている。
- 11) 長洲南海男：科学教育研究レター (日本科学教育学会, 1993), No. 98, p. 10に紹介されたアイオワ大学のイエガー教授のことばである。
- 12) 山本健治, 狩野 勉, 宮川和也, 中川生一, 宇都宮晃：日本科学教育学会第17回年会における発表；同年会論文集, pp. 217—218 (1993年7月)。
- 13) 鈴木智恵子：著者の一人 (山本) に対する私信 (1993年7月) にも述べられている。
- 14) 教科書で「公式」という単語は使われないし, 一般には教師も「暗記すべき公式」とは言わない。
- 15) たとえば, 江沢 洋：よくわかる力学 (東京図書), p. 61 (1992)。
- 16) I. Newton [訳：中野猿人]：プリンシピア, 講談社 (1977)。
- 17) これまでの「理科 I + (選択)物理」という履修形態は, 今後, 「物理 I B + 物理 II」に移行する。「総合理科 + 物理 I A」というコースも考えられる。理科がすべて選択科目になってしまうことは注目すべきである。
- 18) 金武正八郎：Keirin「啓林-高理編：物理・地学」, No. 289, pp. 19—21, 啓林館 (1993年7月)。
- 19) 原島 鮮：物理教育覚え書き (裳華房1980) p. 1；また, 大槻義彦, 小出昭一郎, 笠 耐 (監修)：メカニカル・ユニバース日本語版 (第10巻)「慣性」 (丸善, 1988) には慣性の法則が適用できる多様な状況例の解説がある。
- 20) 原田幸俊, 黒岩 督：日本科学教育学会第17回年会 (岡山理科大学, 1993年7月) における発表で, このような科学概念の後退現象が報告された。
- 21) 大橋秀雄ほか編：NHK ビデオ教材, 高等学校理科 (物理)「加速度」, NHK (1980)。
- 22) 後藤道夫ほか：物理実験アイデア集 (I), p. 26, 日本私学教育研究所 (1988)。
- 23) 狩野 勉, 中川生一, 宇都宮晃, 宮川和也, 山本健治：日本科学教育学会第17回年会論文集, pp. 75—76 (1993年7月)。
- 24) 東 洋, 大橋秀雄, 戸田盛和：理科教育事典, p. 123, 大日本図書 (1989)。
- 25) 近藤千恵, 中井喜美子訳：ゴードン博士の——親に何ができるか (三笠書房, 1990)；原作は Thomas Gordon 著 (1976)；Parent Effectiveness Training in Action, ほかに近藤千恵監修：教師学手帖, 栄企画 (1991)。

Education on Physics for Freshmen in the Formative Period of Basic Concepts of Dynamics

Kenji YAMAMOTO, Tutomu KARINO, Kazuya MIYAGAWA,
Koh UTSUNOMIYA and Sei-ichi NAKAGAWA

Faculty of Liberal Arts and Science

Okayama University of Science

Ridai-cho 1-1, Okayama 700, Japan

(Received September 30, 1993)

What makes physics to attract students? In what way, some important concepts about dynamics can be shaped during secondary and higher education periods? The processes of learning “Newton’s law of motion” and “momentum and impulse” are both considered from one viewpoint that a formation of basic concepts about “inertia” has something to do with them. A tentative plan for the class for high-school students on, e.g., the law of motion that takes in momentum and impulse is proposed, in accordance with our questionnaire for students concerning unit-by-unit understanding about dynamics. In addition to that consideration, some desirable environment for freshmen of mastering physical concepts is mentioned in that connection, too. In order to make further examination on the education of fundamental physics at the university for the future, an explanation is made about our practice of applying personal computers, in a class on basic physics experiment for freshmen who don’t take a major in physics.