

接続型教育を目指して

第3報 基礎物理演習の教育効果

鈴木 貴*・尾崎 徹**・井上 光***・大政 義典****・細川 伸也*****・北野 保行*****

(平成21年10月31日受理)

Toward a Linking Education The Third Report: The Educational Effect of Exercise in Basic Physics

Takashi SUZUKI, Tōru OZAKI, Hikaru INOUE, Yoshinori OHMASA,
Shinya HOSOKAWA and Yasuyuki KITANO

(Received Oct. 31, 2009)

Abstract

This is the third issue of the series of our reports on an attempt towards a linking education through the class “Exercise in Basic Physics”. It mainly describes what the class is like. We first explain the manner of class-division based on the degree of academic achievement and then investigate the results of the placement test and the final test. By comparing these two results, we discuss the educational effect of the class. In particular, it is emphasized that the academic effect can be had on any student having, at least, the academic ability of science and mathematics at the junior high school level.

Key Words: linking education, educational effect of Exercise in Basic Physics, class-division based on the degree of academic achievement

1. はじめに

本稿は、「接続型教育を目指して」と題する一連の報告書の第3報である。これは、物理グループが平成12年度カリキュラムから担当している接続型教育の科目「基礎物理演習」に関して報告しているものであり、第2報までは本科目の内容や実施方法について紹介した。そこで第3報では、本科目の教育の実情を報告したい。まず、第2報以降に実施されている習熟度別クラス編成を紹介しよう。そして、その際用いられたプレースメントテストと期末テストの結果の分析を行いながら、本科目の教育効果について議論する。とくに、プレースメントテストの結果の分布と

期末テストの結果の分布を対比することによって、どのような学生に対して教育効果が現れているかを調べよう。

2. 基礎物理演習における教育目標と基本方針

「基礎物理演習」は、工学部の専門基礎科目の1つとして、1年次前期に開講されている。まず、物理グループが本科目の授業を実施する上で定めた基本方針について説明しよう。この科目の接続教育としての意義や内容および方法などの詳細は文献1と2を参照されたい。

物理基礎教育の役割は、後に続く専門科目を学ぶための物理の基礎力を養うことにある。このことは、物理の細かい公式や知識を植えつけることではない。高校物理でとら

* 広島工業大学工学部電気・デジタルシステム工学科

** 広島工業大学工学部電子情報工学科

*** 広島工業大学工学部非常勤講師(元 広島工業大学工学部教授)

**** 広島工業大学工学部知能機械工学科

***** 広島工業大学工学部建築工学科

***** 広島工業大学工学部都市建設工学科

れている公式に頼る暗記主義から脱却し、ベクトルや微積分といった数学的手段を用いて現象を解析するという科学技術の手法を身に付けさせることである。そして、この目的を効果的に実践するためには、講義に加えて演習、つまり自ら手を動かして解答を導くという地道な訓練が不可欠である。これが接続教育としての本科目の役割であり、新入生の履修歴のアンバランスを補うために高校物理を単に繰り返すという補習的なものとは質的に異なることに注意していただきたい。そこで、H 12 年度に基礎物理演習がスタートして以来、われわれは基本方針として「学生が主体」を堅持してきた。これが、本科目の特色であり、「教師から学生」という一方通行の教育から、「責任をもって自力で解答に至る」という姿勢を身につけさせることを狙っている。具体的には、つぎの2点を柱として授業を構築してきた。

- ① 学生は予習として問題を解いてくる。その解答を自ら教壇に立って口頭発表する
- ② クラスを5人程度の班に分割し、班単位で発表の責任を持つ

さらに、物理グループは以上に述べた基本方針の下でさまざまな授業改善を試みてきた。その中で最も議論を重ねてきたことは、クラス分割の方法である。とくに前報告以降から実施している習熟度別クラス編成では、これまで様々な方法を試みている。そこで次節では、本科目で試みられてきたクラス分割の変遷を説明しよう。

3. 基礎物理演習におけるクラス分割の方法

大学の入試制度の多様化に伴う入学生の履修歴の格差が広がる中で、習熟度別にクラスを分割して教育することの是非が問われている。もちろん、それぞれの授業の特質を鑑みて判断しなければならない重要な問題である。

そこで、本科目について習熟度別クラス編成が有効かどうかを考えてみた。学生が自分の能力に応じた学習ができるということが、習熟度別クラス編成が是とされる一般的な理由であろう。たしかにこの観点から見れば、本科目も決して例外ではなく、クラスに応じた進度を設定できれば学力の高い学生をさらに引き上げることも可能になる。また、学力の低い学生がついて行けないという事態もある程度は回避できるだろう。しかし、前節で述べた本科目の基本方針を尊重すると、とくに習熟度の低いクラスでは次のことが懸念される。それは、基本方針②が機能しないのではないかということである。班を単位とすることの一つの意義は、学生どうしの間に議論の場を持たせることである。これは、学生どうしで教えあいながら理解を深めていくという、教員からの一方通行の講義では決してできない経験をさせることを念頭に置いている。ところが、わからない

学生ばかりが集まると、このような学生どうしの議論が期待できないばかりか、わからないことに危機感を抱かなくなってしまう。

このような理由からH 15 年度までは習熟度別クラス編成を採らず、学力差が一層拡大し、全員が同じペースで演習を行うことに限界が見えてきたH 16 年度に、導入した。ただし、このときは前期の1/3までの授業は学生番号順のクラス分割で行い、その段階での到達度に応じてクラスを「基礎クラス」と「一般クラス」の2段階の習熟度別に再編成した。そして、H 18 年度からは、初回にプレースメントテストを行い、すべての演習を習熟度別で実施している。さらに電気系ではH 19 年度から、プレースメントテストがとくに悪かった学生を集めた少人数の基礎クラスを作り、3段階の習熟度別クラス編成を試みている。その理由は、次節で具体的に見るように、このような学生は基礎学力が著しく不足しているため本科目による学習効果が現れにくいからである。そしてH 21 年度では、機械系でも3段階の習熟度別クラス分割を取り入れた。

4. テスト結果の分析と基礎物理演習の教育効果

本節では、プレースメントテストと期末テストの結果、およびそれらの間の相関をもとに、基礎物理演習の教育効果について議論しよう。

4.1 テストの目的と内容

それぞれのテストの目的と内容について簡単に説明しよう。本科目、および並行して開講されている講義科目「基礎物理学Ⅰ」では、高校の物理の知識よりも中学程度の理科の知識とそれを理解できる学力を前提としている。また、ベクトルや微積分についても授業で学ぶことではあるが、基本的な事柄は予め理解していることが望ましい。そのため、プレースメントテストでは、これらのことを試す問題が出されている。一方、期末テストは、授業の内容の理解度を判定することが目的である。ただし、クラス分割による不公平を回避して統一的な評価基準を設けるために、共通の問題で実施している。あらかじめ、テキスト（文献3）で最低限の到達点（テーマ）を決めておき、どのクラスもそのテーマまでは終了させる。期末テストの問題は、そこまでのテキストの中から提出している。両テストは付録に掲載されているので参照していただきたい。

以下では、H 18 年度から4年間に実施されたプレースメントテストと期末テストの結果を提示した後、本科目の教育効果について議論しよう。

4.2 平均点の年度変化

図1に、H 18年度からH 21年度までのそれぞれのテストの工学部全体の平均点の推移を示す。いずれのテストでも得点は一桁から100点まで幅広く分布しており、平均点の数字自身には統計的な意味はないが、推移の傾向を概観することができるだろう。

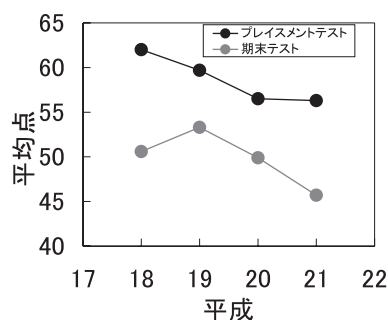


図1. プレースメントテストと期末テストの平均点 (工学部平均)

図1からプレースメントテストの平均点が毎年およそ3点ずつ低下していることがわかる。テストの実施時期が1年次前期の初回であることから、この結果は入学生の学力レベルが年々低下していることを意味している。上述したように、テストの内容には高校の物理の知識を必要とするものはほとんどなく、中学校までの理科と高校2年程度の基礎的な数学が問われている。つまり、平均点の低下は、高校での物理の履修状況に起因するものではなく、それよりもなお基礎的な学力が不足した学生が多く入学するようになったことを表している。たとえば、[3] (1)は単純な冪関数の微分であるが、H 18年度には91%であった正解率がH 21年度には85%にまで低下している。また、ベクトルの基本演算 [3] (6)についての今年度の正解率は、「和」が55%、「内積」は25%である。つまり、およそ半数の学生がベクトルを知らないか理解しないまま入学している。

さらに、[1] (1), (2)および(8)は小学校の算数の力だけで解ける問題であるが、今年度は、(1)が59%、(2)が62%、(8)ではわずか25%しか正解していない。とくに、プレースメントテストで40点に満たない学生は、このような初歩的な問題すらほとんど解けない。

プレースメントテストの得点が40点未満の学生が工学部の入学者数に占める割合は、H 18とH 19が18%、H 20とH 21が25%である。H 19からH 20へ不連続に増加した原因は、合格基準の変更にもなって工学部の入学者が80名増加し、その大部分がプレースメントテストで40点未満の得点をとったことである。40点未満の層が、物理の接続教育において極めて深刻な問題ををはらんでいることは、4.3節と4.4節で説明しよう。

図1の期末テストの平均点はプレースメントテストのような単調な推移を示しておらず、この4年間のデータだけでは、どのような傾向にあるのかを判断することは難しい。このことは逆に、期末テストの結果、すなわち本科目の教育の効果が入学時の学力の低下に引きずられていないことを示している。たしかに、H 19年度からの平均点は低下し続けているが、H 18年度からH 20年度までを見る限り、ほぼ一定に保たれていると見ることができる。期末テストの結果を踏まえて本科目の教育効果を論ずるためには、別の角度からさらに詳しくテスト結果を分析する必要がある。

4.3 プレースメントテストと期末テストの得点の相関

プレースメントテストと期末テストの得点の分布を調べ、両テストの間に相関が認められるかを調べてみよう。この節で用いるデータは、工学部全体のものではなく、ある一つの系Aだけのものであるが、他の系のデータもほとんど同じ様相を示しており、系Aの傾向が工学部全体の傾向を表していると考えてよい。

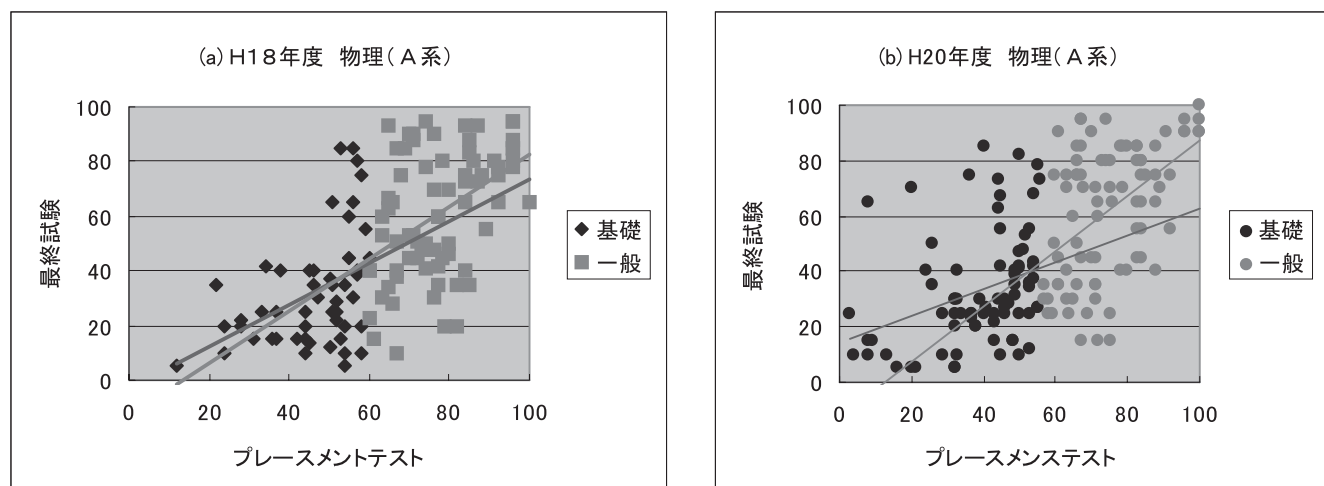


図2 プレースメントテストと期末テストの得点の相関 (工学部A系) (a) H 18年度, (b) H 20年度.

図2には、H18年度(a)とH20年度(b)の系Aの学生ひとりひとりの得点がプロットされている。ただし、プレースメントテストで60点以上が一般クラスの学生である。両方の図を見ると、プレースメントテストと期末テストの得点の間に相関が認められる。つまりプレースメントテストの得点が高い(低い)学生は、概して期末テストでも高い(低い)点をとる。しかし、基礎クラスの学生の中に、期末テストで一般クラスの学生と同程度の高い点を取る学生が少なからずいることは注目に値する。このことは、本科目の教育が、基礎クラスの学生に対しても一般クラスと同様に効果をもたらすことを示している。ただし、ここに極めて重要な事実が見えている。それは、期末テストで高得点に至った基礎クラスの学生のほとんどが、プレースメントテストの40点以上に集中しており、それ以下の学生の大半は期末テストの30点前後、またはそれ以下のところに分布していることである。このことから、プレースメントテストの40点前後に、本科目の教育効果を二分する壁があることがわかる。この点については、次節で考えてみよう。

もうひとつ注目すべき点がある。それはプレースメントテストで20点以下の学生数が、H18年度では1人だったのに対して、H20年度では8人に増加していることである。そして、これらの学生の期末テストの結果はきわめて悪い。工学部全体でも、プレースメントテストが20点以下の学生が占める割合は年々増加し、そのほとんどの学生の期末テストの結果は惨憺たるものである。これが、図1の期末テストの平均点を引き下げている。

4.4 基礎物理演習の教育効果について

以上で行ったテスト結果の分析をもとに、本科目の教育効果について議論しよう。4.1節で述べたように、本科目の学習では、中学程度の理科の知識とそれを理解できる基礎的な学力だけが前提とされ、高校での物理の履修は要求されていない。ベクトルや微積分についても物理で使えるように基礎から学習している。したがって、期末テストの結果が本科目の教育効果を直接表していると考えてよい。4.3節で説明したように、プレースメントテストの40点を境に、期末テストの得点分布に著しい相違が見られた。つまり、期末テストで高得点を取った学生のほとんどが、プレースメントテストで40点以上を取っている。このように、基礎的な学力を持った学生に対しては本科目の教育効果が十分期待できると考えてよい。これに対して、プレースメントテストで40点に満たなかった学生は、期末テストでも得点が低く、学力がつかなかったと判断できる。このことから、入学時の基礎学力が不足し、プレースメントテストで40点を取ることができない学生に対しては、本

科目の教育効果を期待することが難しいと言わざるを得ない。もちろん一般クラスの中にも期末テストが低得点の者もいれば、プレースメントテストが40点以下の学生であっても期末テストで高得点をとる者もいる。しかし、授業内容を理解できるか否かの最も重要な因子は学生自身の努力であることは言うまでもない。期末テストで高得点に至った学生の予習や発表状況は良好であり、普段から意欲的に授業に参加している。

ところで、本科目では、最後の授業のときにアンケートを行っている。その項目の中に、この授業の達成感をパーセントで自己評価させる設問がある。その結果は、上述したクラスごとの教育効果の相違を暗示しているようで、大変興味深い。まず一般クラスでは、70%の付近にピークがある。このことは、一般クラスの学生の多くが授業に意欲的に参加し、演習を通して物理を理解することができたという満足感を表していると考えられる。たしかに、この科目の自宅学習時間を問う設問に対しては、半数以上が「1～3時間」と答えている。これに対して基礎クラスでは、達成感の平均値は50%以下にある。基礎クラスの学生の達成感が低い理由は様々であろう。自宅学習時間についての設問では、「1時間以内」と「1～3時間」の比率は2:1である。さらに、授業内容の難易度を問う設問では、基礎クラスの2/3の学生が「難しい」と答えている。このように、「わかる」ことと「やる気」の相乗作用が「学習効果」を高めていくという自然の流れが本科目においても見えている。そして、この流れに乗れるかどうかの分水嶺が、高校物理の知識ではなく、繰り返し述べてきた「(中学程度の)基礎学力」なのである。

最後に、本科目の授業方法に対する学生の反応を紹介しよう。習熟度別クラス編成の是非を問うアンケートについては、「非」とする回答はほとんどなかった。とくに基礎クラスの70%が「是」と答えている。一方、一般クラスでは、「是」は55%、「どちらとも言えない」は44%であり、基礎クラスに比べれば「是」の割合は低くなっている。しかし、一般クラスでは、2節で述べた本科目の基本方針は活かされている。教室では、学生どうしが議論し合う姿も見られ、発表者に対して質問が出るクラスもある。したがって、習熟度別クラス編成は双方のクラスにおいて有効であると考えてよいだろう。また、班編成の方法を問う設問に対しては、どちらのクラスでもほとんどすべての学生が班編成を支持した。実際、友人との議論に関しては、「十分にした」と「場合に応じてした」を合わせると、一般クラスでは80%、基礎クラスでも70%の学生が議論をしたと答えている。もちろん、友人との議論が学力の向上に直結するとは必ずしも言えないが、われわれが本科目の基本方針とした班編成方式はポジティブな教育効果をもたらして

いると言える。

5. まとめと問題点

本稿では、基礎物理演習の教育効果と実情を、プレースメントテストと期末テストの結果をもとに報告した。H18年度からH21年度までの4年間に実施された両テストの平均点、および両テストの得点分布の間の相関を分析した結果をまとめよう。

プレースメントテストの平均点が年々低下していることから、学生の入学時の学力が低下していると判断できる。このことが直接示唆することは、高校物理の知識を持たない学生が増加しているということではなく、より初歩的な学力が不足している学生が増加しているということである。一方、期末テストの平均点はプレースメントテストのような単調な低下にはなっておらず、本科目による教育の結果が入学時の学力の低下に引きずられて単調に低下してはいないことを示している。また、両テストの得点分布を見ると、プレースメントテストの得点が高い学生のほうが期末テストでも高得点を取る傾向が認められるが、基礎クラスの中にも期末テストで一般クラスの学生に劣らない高得点を取る学生がいることもわかった。さらにわれわれは、次の事実に注目した。それは、基礎クラスの中でも期末テストで高得点を取った学生のほとんどが、プレースメントテストでは一定の点(40点)以上を取っていたことである。逆に、プレースメントテストでその点に満たなかった学生の大半は期末テストの点もかなり悪い。この傾向は工学部のどの系でも、また年度を問わず現われている。このことから、プレースメントテストの40点前後に、本科目の教育効果を分ける壁があることを指摘した。

プレースメントテストの内容と以上の事実を併せて考慮し、本科目の教育効果について次のように結論する。

工学基礎としての物理の基礎力を、講義科目と本演習を通して習得させるという目標は、入学時点での学生の学力には必ずしも影響されることなく達成することができている。しかし、それには限界があり、どのような学生にたいしても教育効果が及ぶわけではないこともわかった。すなわち、プレースメントテストで一定の点を取ることができない学生には、教育効果を期待することが極めて難しいことである。そして、教育効果を期待できるか否かを分ける鍵となるのは、高校物理の知識などではなく、中学程度の理科や数学の基礎学力なのである。

基礎学力を持たずに入学してくる学生をどのように教育していくのかという問題は、物理教育に限ったことではない。今後もこのような学生を入学させるなら、新たな受け皿を早急に考えなければならない。

謝 辞

基礎物理演習の授業を担当していただき、さらに授業実施についての数々のご意見を下さった教育学習支援センターの藤岡淳先生、藤川泰之先生、道原康良先生、および非常勤講師の石田郁二先生に感謝いたします。また、普段から励まして下さっている中西助次先生に感謝いたします。

付録 プレースメントテストと期末テスト

基礎物理演習プレースメントテスト

- 次の(1)~(12)の_____に適切な数値を書け。
光の速さは $c = 3 \times 10^8$ m/s, 重力加速度の大きさは $g = 9.8$ m/s² とする。
単位記号: m はメートル, s は秒, kg はキログラム, N はニュートン, V はボルト, A はアンペア, θ はオーム, W はワット, J はジュールである。
- 時速 900 km の速さで飛んでいるジェット機は 1 秒間に _____ m 進む。
- 太陽・地球間の距離は 1.5×10^{11} m である。太陽から出た光が地球に届くの _____ s かかる。
- 原点から座標 $(x, y) = (8, 6)$ m の点までの距離は _____ m である。
- ある物体が図 1 の向きを持つ大きさ 20 N の 2 つの力でつり下げられている。物体にはたらく重力は _____ N である。
- 質量 10 kg の物体に作用する重力の大きさは _____ N である。
- 初速度ゼロから自由落下を始めた物体は 0.5 s 後に速さ _____ m/s に達する。
- 加速度 4 m/s² で運動している質量 5 kg の物体には _____ N の力がはたらくている。
- 半径 0.50 m の車輪をつけて速さ 20 m/s で走っている車の車輪は 1 秒間に _____ 回転している。
- 電圧 100 V の電源に電気抵抗 250 Ω の抵抗をつなぐとき、抵抗には _____ A の電流が流れる。
- 電圧 12 V の電源から 20 A の電流を取り出すとき、電源から取り出される電力は _____ W である。
- 電力 1000 W で使われている電気ストーブからは 1 時間当たり _____ J の熱量が発生している。
- 太陽光に垂直な面に 500 W/m² の割合で光のエネルギーが届けられているとする。この面に、光から電力への変換効率が 10% で、面積 4 m² の太陽電池を置けば、出力電力 _____ W の発電装置となる。

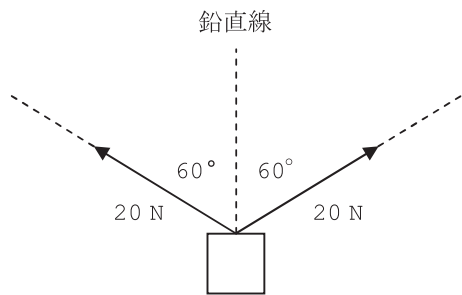
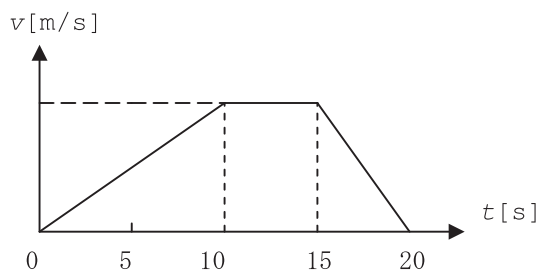


図 1

2. 直線道路上で、ある自動車のスタートから停止までの速度 v [m/s] の変化を記録したところ、図のようなグラフが得られた。

横軸はスタート後の時間 t [s] である。このグラフをもとに、次の問に答えよ。答のみではなく、説明を書くこと。



- (1) 自動車の運動のようすを説明せよ。
- (2) 最初の 10 秒内での速度 v を時間 t の式で表せ。
- (3) 最初の 10 秒内での加速度の大きさを求めよ。
- (4) 自動車の全走行距離を求めよ。

3. 次の _____ に適切な式または数値を記入せよ。

- (1) 関数 $y=2x^4$ を x で微分すると、 $y' =$ _____ である。
- (2) 関数 $y=(5x+2)^{10}$ を x で微分すると、 $y' =$ _____ である。
- (3) 角度 $\theta = 60^\circ$ では、 $\sin \theta =$ _____ である。また、 $\theta = 60^\circ$ を弧度法で表すと _____ ラジアンである。
- (4) $\sin \theta = \frac{3}{5}$ のとき、 $\cos \theta =$ _____ である。
- (5) $\int 8x dx =$ _____
- (6) 2つのベクトル $\mathbf{A} = (5, 4)$ 、 $\mathbf{B} = (2, -1)$ の和は $\mathbf{A} + \mathbf{B} =$ _____ であり、内積は $\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} =$ _____ である。

基礎物理演習期末テスト

1. 次の _____ に適切な数値または式を書け。重力加速度の大きさは $g=9.8 \text{ m/s}^2$ である。
- (1) 初速度ゼロから 0.5 秒間自由落下を続けたとき、物体の速さは _____ m/s になっている。

- (2) 初速度 25 m/s で真上に投げ上げられた物体は _____ に最高点に達する。
- (3) 平地の 60 m 上空の静止気球から初速度ゼロで自由落下したボールは _____ かけて地面に着く。
- (4) 速さ 20 m/s で水平面から 30° の方向に投げ出されたボールの水平方向の速度成分は _____ m/s である。
- (5) 質量 70 kg の人は地球から _____ N の力を受けている。
- (6) ちょうど 1.00 N の力を実感するには _____ kg の物体を手にとってみるとよい。
- (7) 質量 0.15 kg の自由な質点に 30 N の力が作用すると加速度 _____ m/s^2 の運動を行なう。
- (8) 速さ 25 m/s で走っている質量 600 kg の車を 10 秒間で一樣減速させて止めるには _____ N の力が必要である。
- (9) 時刻 t [s] での x 座標が $x=0.1\sin(4t)$ [m] である質量 0.4 kg の質点には $F_x =$ _____ [N] の力が作用している。
- (10) 質量 600 kg のエレベータを上方に加速度 1.2 m/s^2 で引き上げるには _____ N 以上の力が必要である。
- (11) 半径 10 m の円周上を 12 秒間で 1 周している回転ブランコの円運動の加速度の大きさは _____ m/s^2 である。
- (12) 半径 0.5 m の車輪をつけて走っている車で、車輪が 1 秒間に 4 回転している。車の速さは _____ m/s である。

2. 空中を飛ぶボールの運動を考えよう。鉛直上向きに z 軸を、水平面上に x 軸をとる。時刻 t [s] でのボールの座標を (x, z) [m] とする。重力加速度の大きさを $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ とし、次の各問に答えよ。それぞれに十分な説明を添えること。

- (1) 運動中のボールの運動方程式を書け。
- (2) ボールは $t=0$ に速さ 50 m/s で x 軸から角度 30° の上方へ投げ出されたとする。この後のボールの速度を t の式で表せ。
- (3) ボールは $t=0$ には座標 $(x, z) = (0, 0.8)$ [m] にあったとする。この後のボールの座標を t の式で表せ。
- (4) ボールが最高点に達する時刻を求めよ。

参考文献

- 1) 井上光, 尾崎徹, 鈴木貴, 中西助次, 茂木博, 森滝美治郎, 広島工業大学紀要 教育編, 第 1 巻 pp.91-102, 2002 年 2 月。
- 2) 井上光, 尾崎徹, 鈴木貴, 中西助次, 茂木博, 森滝

美治郎, 広島工業大学紀要 教育編, 第3巻 pp.57-69, 2004年2月.

3) 井上光, 尾崎徹, 鈴木貴, 中西助次, 細川伸也, 力学 WORKBOOK 第2版, 東京教学社, 2007年9月.

