

インタープリター養成から考えるこれからの理科教育の課題
2013年9月14日@21KOMCEEレクチャーホール

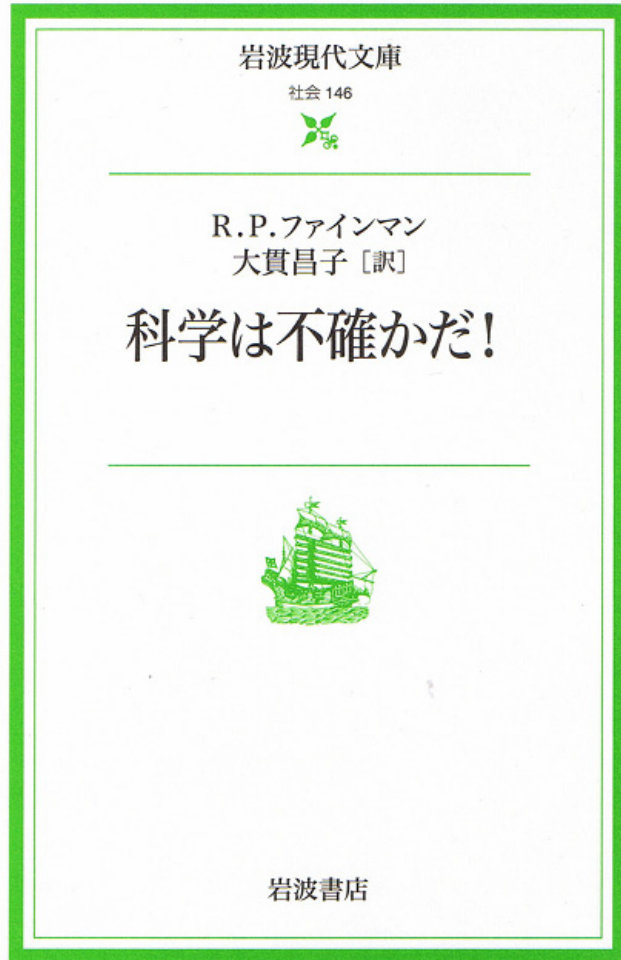
不確かさを認める、 そして定量的に考える

東京大学 大学院総合文化研究科

物理部会 鳥井寿夫

ytorii@phys.c.u-tokyo.ac.jp

科学は不確かだ！



もとより科学的知識とは、すべて不確かなものばかりです。また、こうして疑いや不確かさを経験することは大事なことで、これは科学だけでなく、広く一般にも非常に価値のあることと僕は信じます。いままで解かれたことのない問題を解くには、未知の要素を入れる余地を残しておかなくてははいけません。そして自分のやっていることが必ずしも正しいとはかぎらない、という可能性を認める必要があります。

リチャード ファインマン

1939年 MIT卒

1942年 プリンストン大学で博士号

1943-46 原爆開発(マンハッタン計画)に参加

←1957年 スプートニクショック

1961-63年 ファインマン物理学講義

1963年 講演「A Scientist Looks Society」

1965年 量子電気力学でノーベル物理学賞

1986年 チャレンジャー事故調査委員

1988年 死去

1998年 「The meaning of it all」出版
(日本語訳「科学は不確かだ!」)



<http://www.nobelprize.org/>

ファインマンが半世紀前に提示した問題の多くは、現在においても当てはまっている

物理学とは

- 自然界に見られる現象の法則性を**実験**または**観測**で見出し、**数学**を用いて記述する。
- 物理法則は、その正しさが**測定の「不確かさ」の範囲で検証**される(**証明はされない**)。実験物理学者は、物理法則の**適用範囲**を日々実験によって**拡張**している。
- 既存の物理法則で説明できない実験結果、観測結果が得られた場合、それを説明する理論を理論物理学者が提唱する。

MIT白熱講義(Eテレ2013年1～2月)



The banner features a blackboard background with mechanical gears and a chalkboard with physics diagrams. On the left, a photo of a man (Professor Feynman) is shown with several colorful, translucent hands pointing towards him. The text is in Japanese, promoting the MIT Hakunetsu Kyoushitsu program.

MIT白熱教室
Massachusetts Institute of Technology HAKUNETSU KYOUSHITSU

毎週土曜日 Eテレ 午後4時から4時59分まで
(第5回放送以降は午後4時から4時54分まで) 2か国語放送(日・英)

番組概要
講義一覧

番組の動画はこちら

物理学の美と楽しさを体を張って伝え
奇想天外、抱腹絶倒
エンターテインメント講義!

マサチューセッツ工科大学 (MIT)で
「教壇のスーパーヒーロー」と呼ばれる名物教授が
この世界の美しさと思議さを物理学で解き明かす。
これを見れば あなたは 世界が違って見えるはず!
MIT白熱教室へようこそ。

<http://www.nhk.or.jp/hakunetsu/mit.html>

MIT オープンコースウェア

物理学I: 古典力学 (1999)

MITOPENCOURSEWARE
MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY

Subscribe to the
OCW Newsletter

Enter Email

 **Courses** ▾

About ▾

Donate ▾

Featured Sites ▾

[Home](#) » [Courses](#) » [Physics](#) » Physics I: Classical Mecha

Physics I: Classical Mechanics

COURSE HOME <

SYLLABUS

CALENDAR

LECTURE NOTES

ASSIGNMENTS

EXAMS



Instructor(s)

Prof. Walter Lewin

MIT Course Number

8.01

As Taught In

Fall 1999

Level

Undergraduate

Translated Versions

(비디오) 한국

Türkçe

CITE THIS COURSE



<http://ocw.mit.edu/courses/physics/8-01-physics-i-classical-mechanics-fall-1999/>

最初の講義 開始から5分後

Now, all-important in making measurements which is always ignored in every college book is the **uncertainty** in your measurement.

Any measurement that you make without any knowledge of the **uncertainty** is meaningless.

I will repeat this.

I want you to hear it tonight at 3:00 when you wake up.

Any measurement that you make without the knowledge of its **uncertainty** is completely meaningless.

My grandmother used to tell me that... at least she believed it...

that someone who is lying in bed is longer than someone who stands up.

And in honor of my grandmother I'm going to bring this today to a test.

大学の教科書ではいつも無視されているが、測定において最も重要なのは**不確かさ**だ。

不確かさの情報がなければ、いかなる測定も意味を持たない。

もう一度繰り返す。

今夜3時に起きたときに思い出して欲しい。

どんな測定でも**不確かさ**の情報が伴わなければ全く意味がないのだ。

わたしのおばあさんは私によくこう言ったものだ。「人はベッドで寝ているときの方が、立っているときより身長が高いのよ」と。

今日はおばあちゃんのために、これを検証しようと思う。

「不確かさ」の重要性

＜おばあちゃんの仮説＞

寝ているときの身長は、立っているときの身長より高い



仮説は検証されたか？

実験装置のキャリブレーション(校正)

アルミ棒_{垂直} = 149.9 ± 0.1 cm

アルミ棒_{水平} = 150.0 ± 0.1 cm

ザック_{垂直} = 183.2 ± 0.1 cm

ザック_{水平} = 185.7 ± 0.1 cm

2.5 ± 0.2 cm



学生実験でよく見られる考察

理科年表によると、東京の重力加速度は約 $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

<実験結果>

– 学生A: 9.80 m/s^2

- ・ 文献値に**近い**値が出たので、実験は**成功**といえる。

– 学生B: 9.77 m/s^2

- ・ 文献値から**ずれてしまった**／理論値に**大体近い**値が出た

– 「ずれた」、「近い」という表現は何を意味するのか？

– なぜ「成功」なのか？

– 「しまった」というのは感情表現(先入観)

不確かさを付けてみると...

理科年表によると、東京の重力加速度は約 $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

<実験結果>

– 学生A: $9.80 \pm 0.05 \text{ m/s}^2$

- 文献値 9.81 m/s^2 と矛盾しない。

– 学生B: $9.77 \pm 0.02 \text{ m/s}^2$

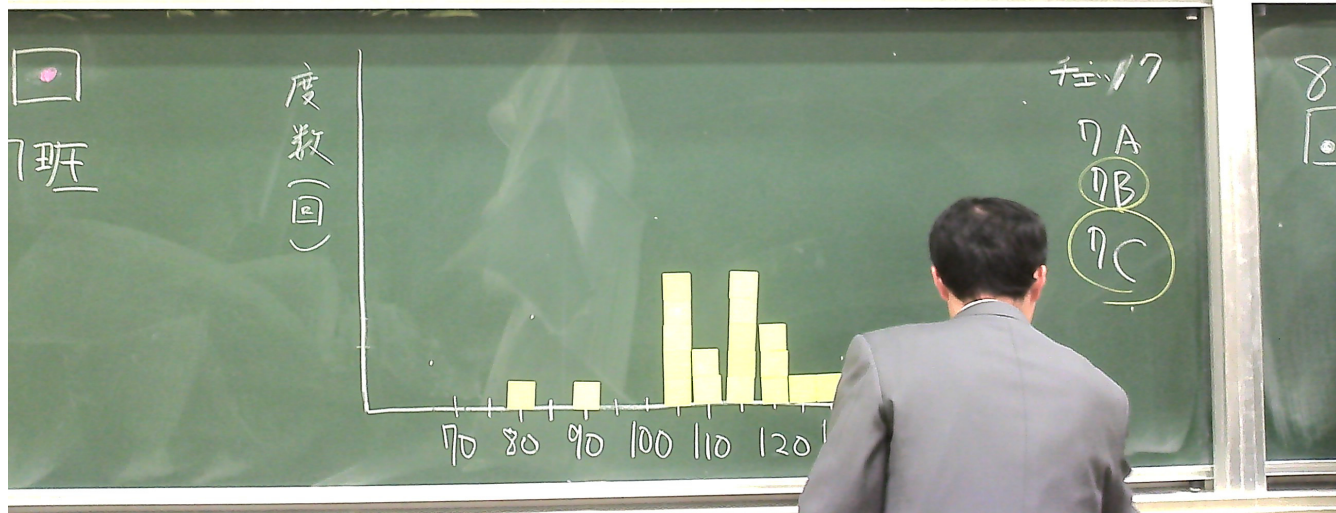
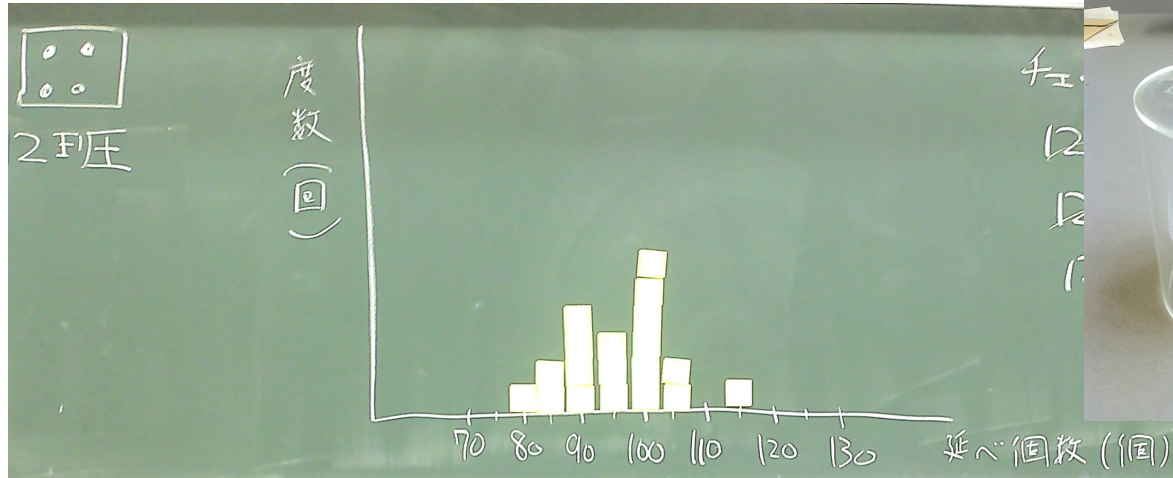
- 文献値 9.81 m/s^2 と有意義な(偶然では説明がつきにくい)差がある。この原因は何であろうか？

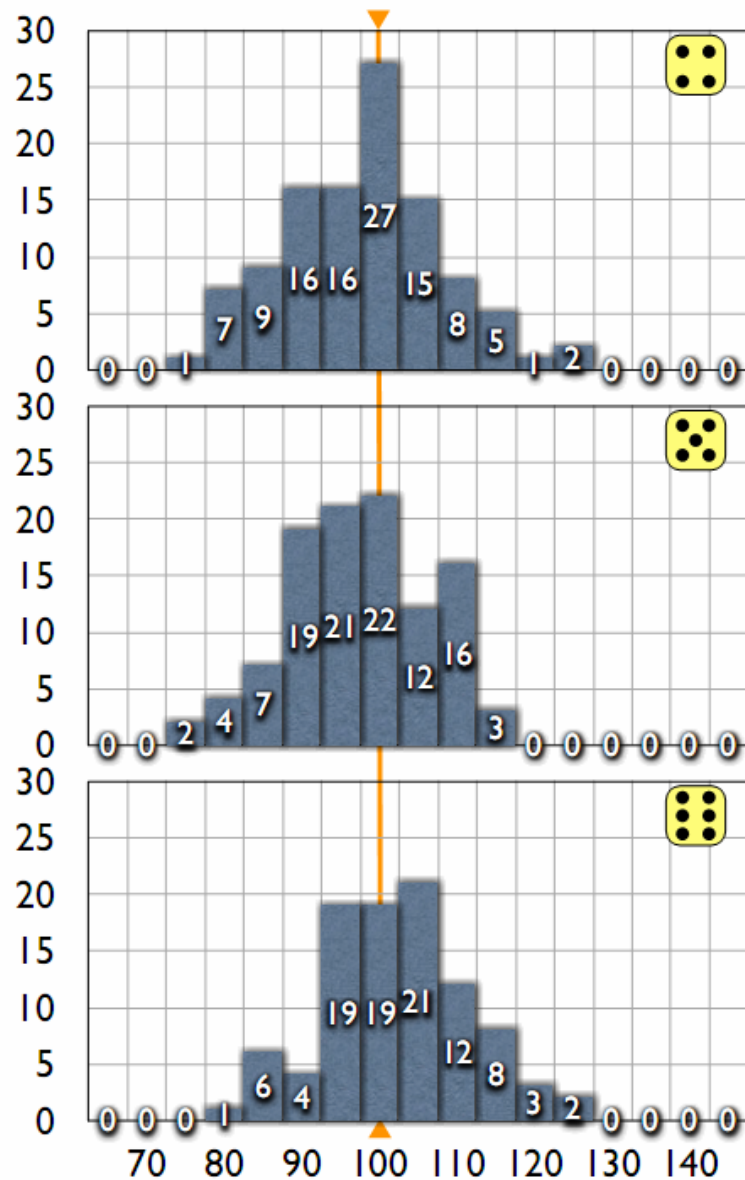
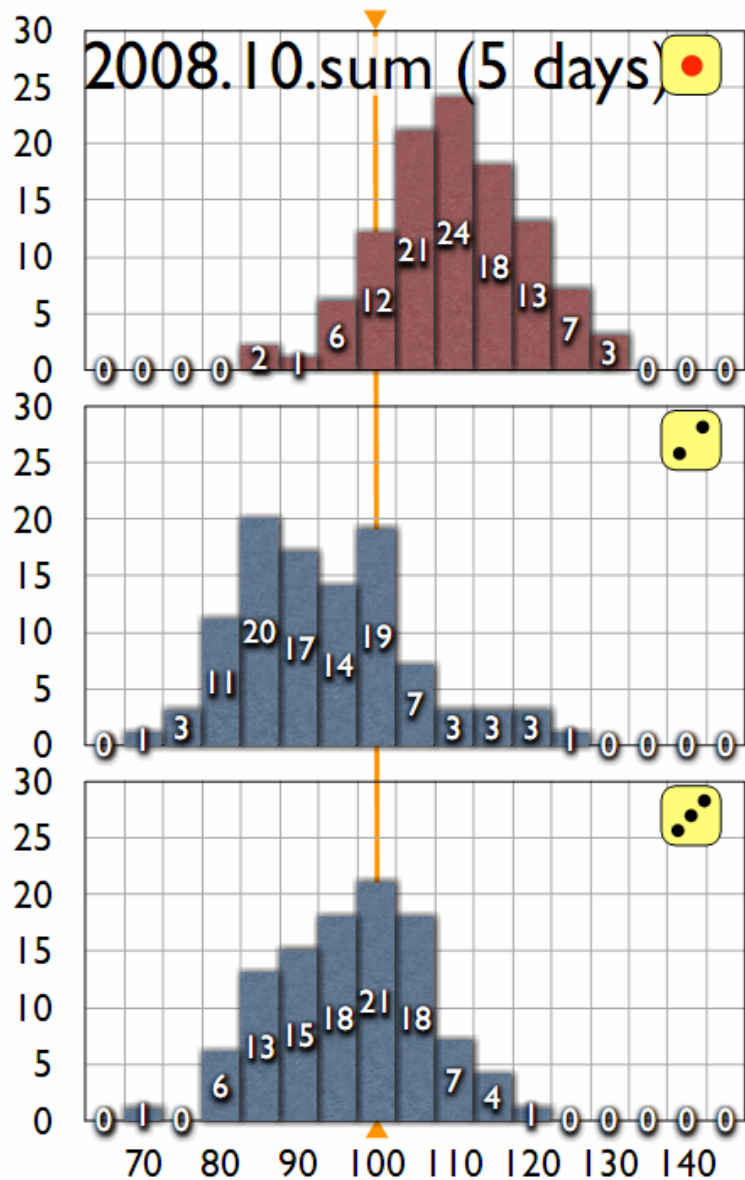
不確かさの適切な評価によって、はじめて定量的な考察が可能になる

(仮説)サイコロの1の目が出る確率は $1/6$ である(サイコロは対称である)

- 各目の出る確率が等しいなら、サイコロを600回振って1の目の出た回数を数えれば、平均で100回1の目が出るだろう。
- しかし、実際は正確に100回、1の目が出る訳ではない。
- どのような実験をし、どのような考察をすればサイコロの“対称性の破れ”を検証できるのだろうか？

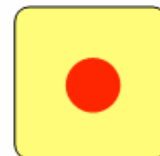
サイコロ実験@駒場



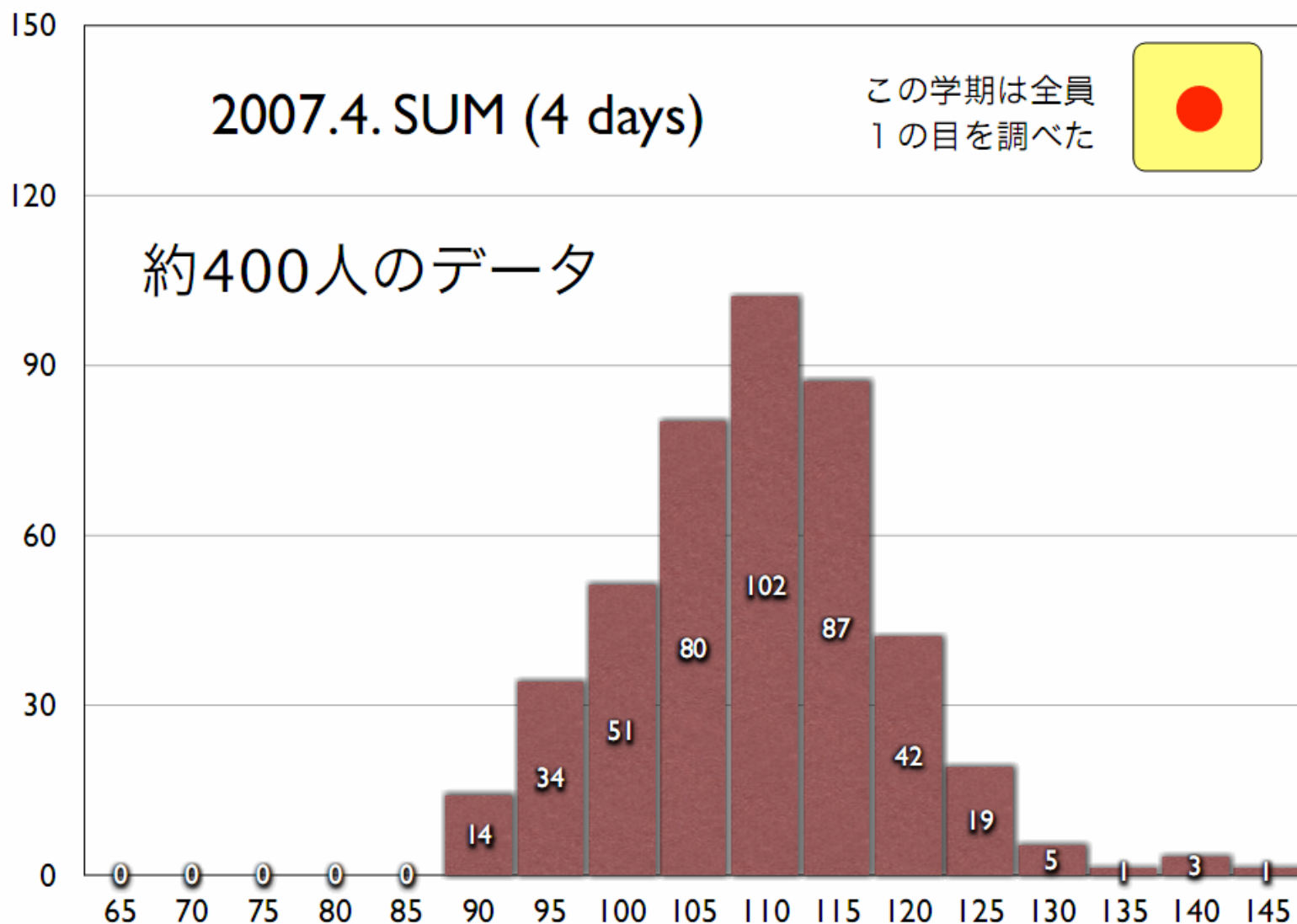


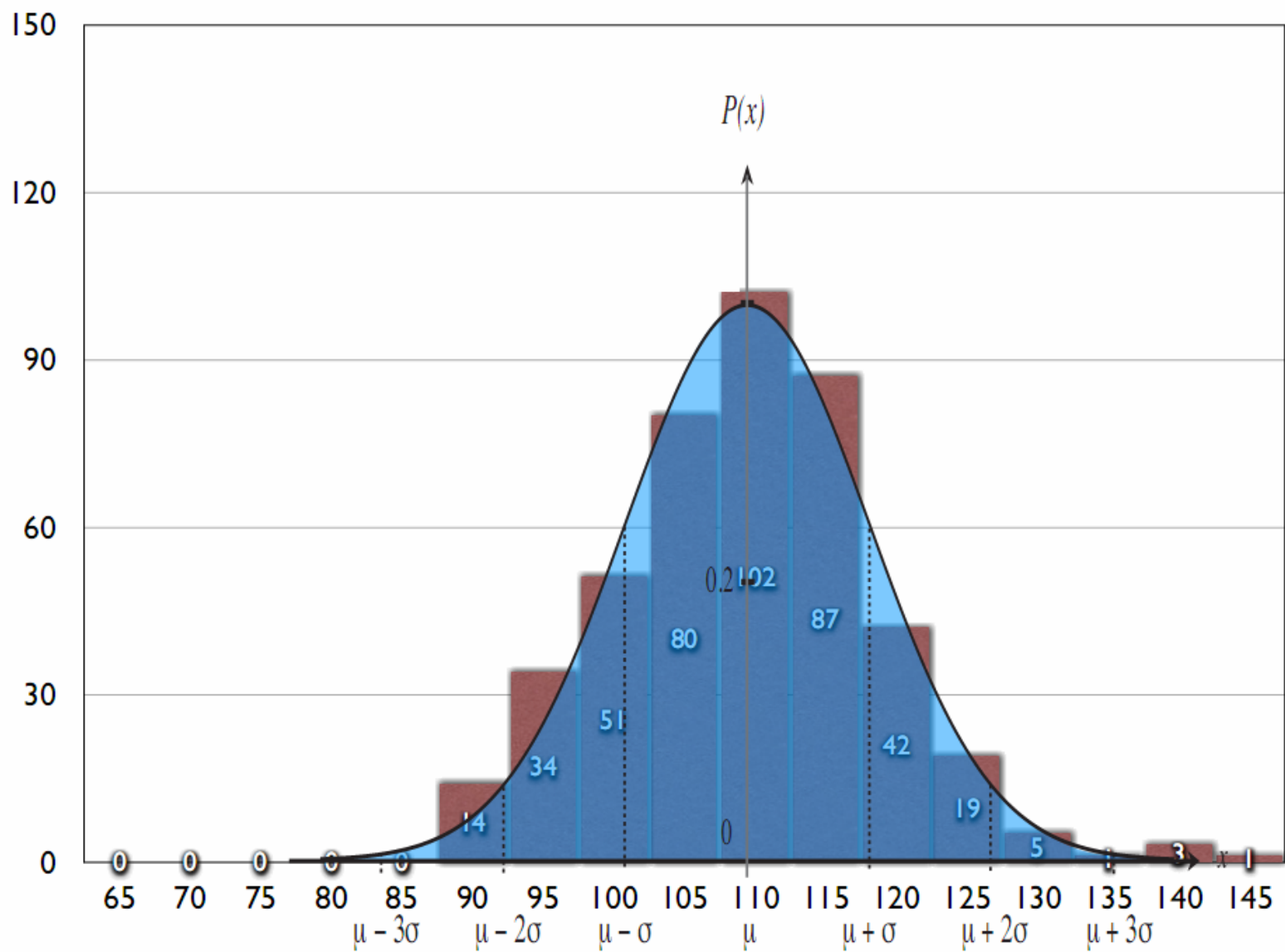
2007.4. SUM (4 days)

この学期は全員
1の目を調べた



約400人のデータ



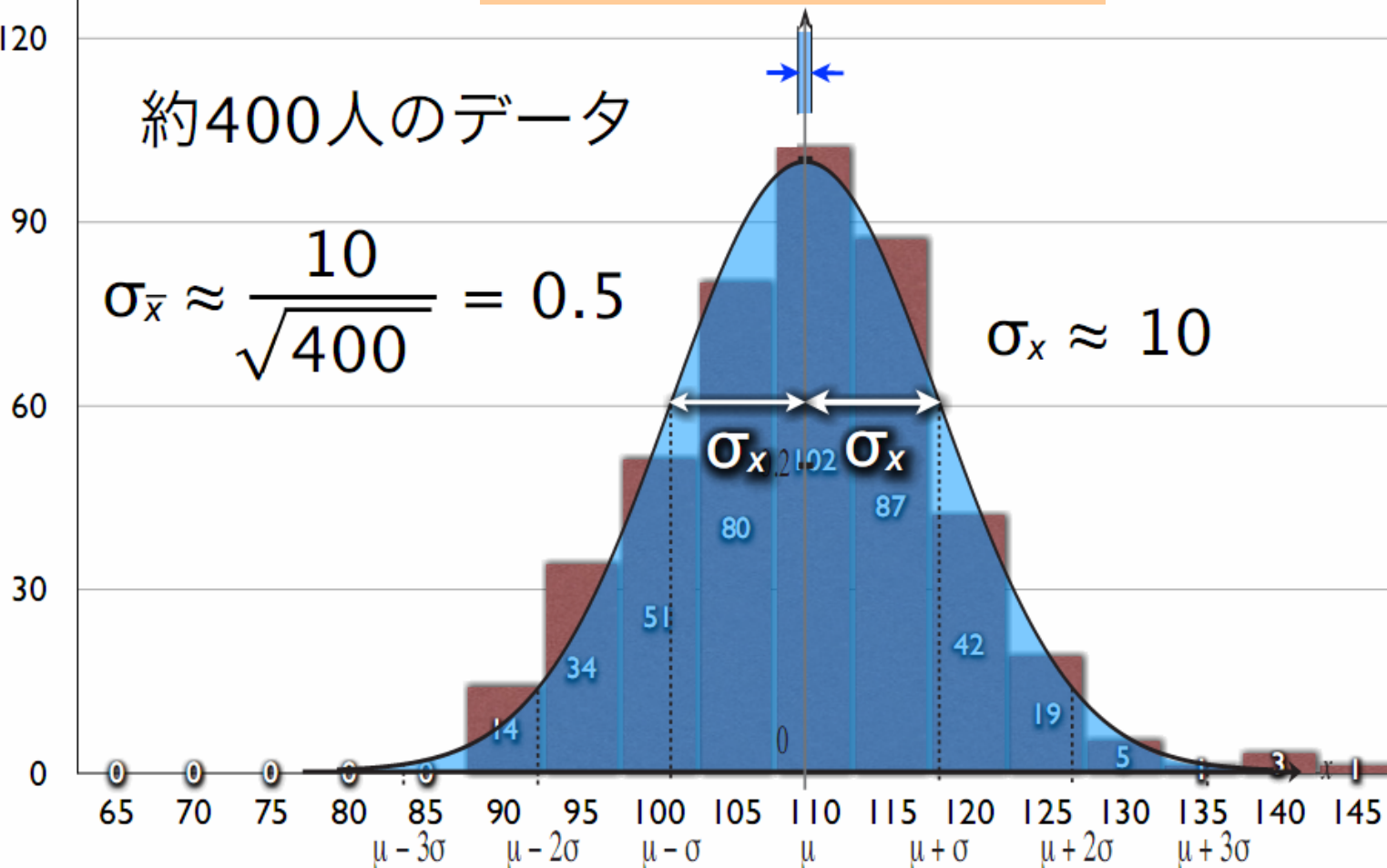


$$\bar{X} = 110.0 \pm 0.5$$

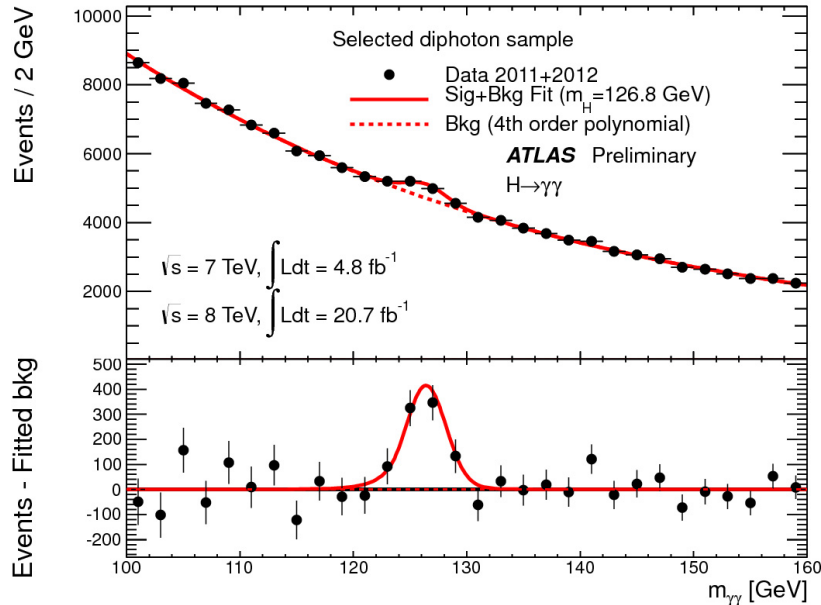
約400人のデータ

$$\sigma_{\bar{x}} \approx \frac{10}{\sqrt{400}} = 0.5$$

$$\sigma_x \approx 10$$



ヒッグス粒子(?)の発見



<https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/AtlasPublic/HiggsPublicResults>

2012年(平成24年)7月5日

木曜日

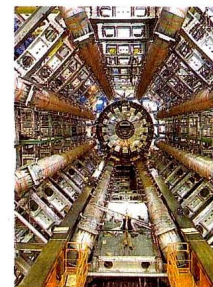
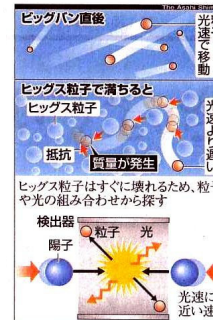
享月

日

第17

第17

1992年3月11日第3種郵便物認可



LHCに設置されている検出装置「ATLAS」＝CERN、アトラス実験グループ提供

国際チーム発表

万物の重さの源

今回発表されたのは、東大や筑波大と日本の16研究機関が参加する「ATLAS」と、欧米を中心とした「CMS」という2つの研究チームの実験成果。ともに、2008年に稼働を開始したCERNの巨大加速器「LHC」を使って探索実験を続けていた。

ヒッグス粒子は、加速器で光速近くまで加速した陽子と陽子を衝突させて人工的に作り出ることができる。だが、瞬時に別の粒子や光に変わり、直ちに検出できない。そこで、変身後の粒子や光を検出器でとらえてヒッグス粒子の存在確率を測り出す。データ量が増えるほど確率は高まる。

今回の成果では、CMS、ATLAS共に、実験によって未知の新粒子が生まれた確率を99.9999%と示した。この確率は物理的に「発見」と認定できる。だが、新粒子がヒッグス粒子であることを突き止めるには、今後データを取る必要がある。今年中にデータを積み重ねて発見を確定する見通しだ。

CERNのロルフ・ホーヤ所長は、ヒッグス粒子とみられる粒子の発見について、「歴史的瞬間だが、これからの様々な発見のための始まりに過ぎない」という見解を発表した。

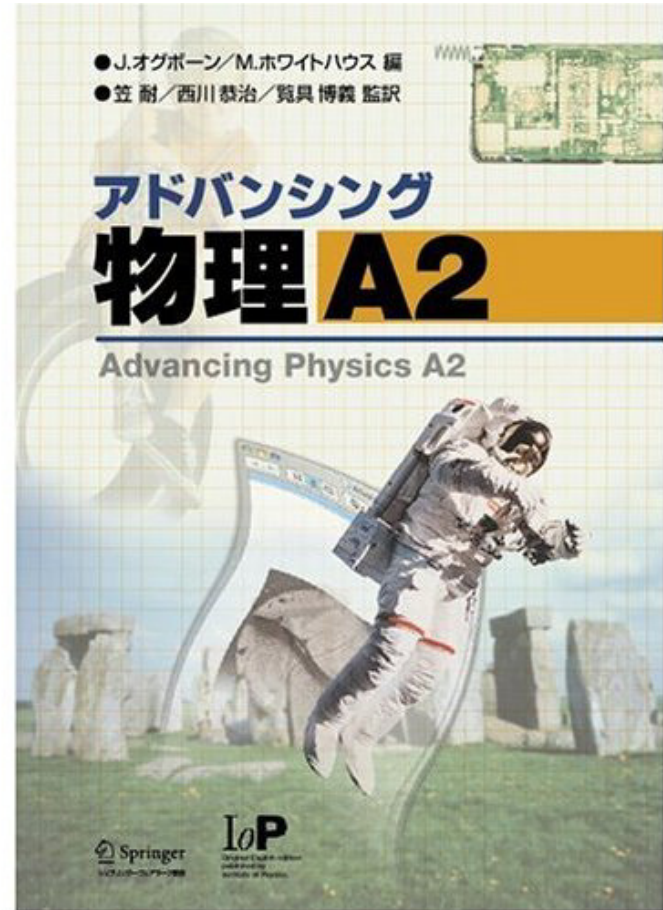
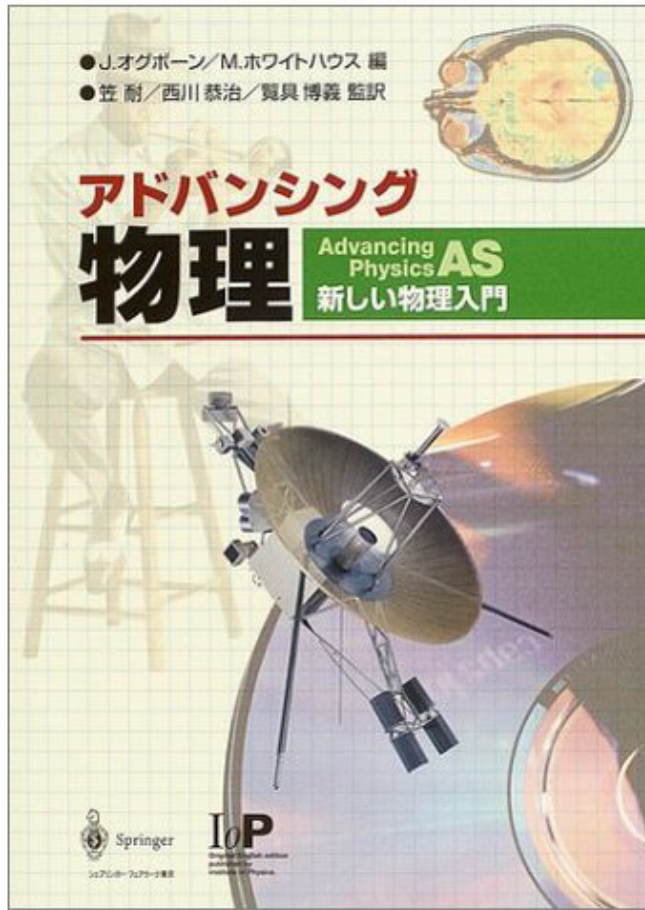
CERNの発表会場には、約四十前にヒッグス粒子の存在を手測した英エディンバラ大学のピーター・ヒッグス名誉教授(83)も招かれ、拍手で祝福された。(中略)

ヒッグス粒子が発見

有意度: 3σ (粒子がなくとも0.3%の確率で起こり得る) → 兆候 (evidence)
 有意度: 5σ (粒子がなければ0.00006%の確率でしか起こり得ない) → 発見 (discovery)

高校物理の教科書

アドバンスング物理(英国、2000年)



英国における物理離れ(特に女子)を危惧し、英国物理協会が2億円弱の予算で3年かけて作成

アドバンシング物理AS 目次

はじめに

v

活躍する物理

PHYSICS IN ACTION

コミュニケーション

Communication

1. イメージング 1
 - 1.1 見えないものを見る 1
 - 1.2 画像の中の情報 13
 - 1.3 あなたの目と共に 19



2. センサー 29

- 2.1 非常に小さなものを作る 29
- 2.2 小型回路 35
- 2.3 電位差の測定と制御 41
- 2.4 センサーとわれわれの感覚 45
- 2.5 良いセンサーを作る 54



3. 信号を送る 59

- 3.1 デジタル革命と距離の消失 59
- 3.2 電磁波で信号を送る 68



デザイナー・マテリアル

Designer Materials

4. 材料をテストする 77
 - 4.1 おあつらえむきのもの 78
 - 4.2 よりよい建物 83
 - 4.3 クリスタルは透明か 92
 - 4.4 非常に良い伝導ー非常に悪い伝導 98



5. 物質の内部を探る 103

- 5.1 顕微鏡で見る物質 103
- 5.2 はっきり見えること 109
- 5.3 物質をさらに作る 115
- 5.4 伝導性を制御する 122



理解の過程

UNDERSTANDING PROCESSES

波と量子の振る舞い Waves and Quantum Behaviour

6. 波の振る舞い 129
 - 6.1 美しい色、すばらしい音 129
 - 6.2 光とはなにか 139
 - 6.3 波の振る舞いが細かいところまで理解された 146
 - 6.4 この先の展望 151



7. 量子的振る舞い 157

- 7.1 量子的振る舞い 157
- 7.2 「多くの経路」の実例 165
- 7.3 電子も同じことをする 172
- 7.4 これらすべてはどういう意味だろう 174



空間と時間 Space and Time

8. 空間と時間の地図を作る 177
 - 8.1 旅 177
 - 8.2 地図とベクトル 182
 - 8.3 速度 188



9. 次の運動を計算する 195

- 9.1 次の瞬間、動きはどうなるか 195
- 9.2 速度を上げる、速度を下げる 200
- 9.3 力、質量、重力 210
- 9.4 交通工学 215



8章 空間と時間の地図を作る

ここではベクトルという新しい数学的な量を紹介しよう。

ベクトルは、空間における配置、運動、力、場、その他いろいろなものを表現する上で、非常に役に立つ。ここでは次のような例について学ぶ。

●ベクトルを使って地図をつくる

●運動を表すベクトル

●ベクトルを成分に分ける方法

●ベクトルの足し算の仕方

これらの考え方は物理学や工学のあらゆる分野で重要である。

8.1 旅

ロバート・リードは南極で宇宙線の研究をしていた物理学者である。彼は南極への旅をこう記している。「その飛行はヘラクレス航空機で8時間かかった。その間、積荷に囲まれた狭いハンモック式の座席に座り、暖房はなく、エンジン音がそのまま聞こえてくる。暗くて本が読める状態ではない。トイレのかわりにバケツがあるだけだった。」彼の頭の中に残っているのは、この飛行で飛んだ距離ではなく、かかった時間である。長い旅行ではおそらく誰もがまったく同じことを感じるだろう。

距離を表現するのに時間がよく用いられる。コウモリは高周波の音を出して、その反射音から前方に何があるかを察知する。潜水艦も同じアイデアを用いている。日曜大工の店で買える電子距離計では、部屋の大きさを測るのに超音波の反射を用いている。医療用の超音波診断装置は子宮内の赤ちゃんの位置を確定する（第1章参照）。



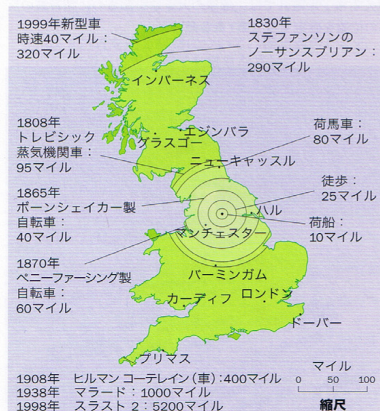
ロバート・リードがお気に入りのΩの形をしたブーメランを、南極（標識板で示されている）を回るように投げている。このブーメランは飛行半径40mの円を描き、直接投げた人の背後に正確に戻ってくる。飛行時間はどうかだろうか。9秒かまたは1日と9秒か、どちらを選ぶかはあなたにまかせよう。

旅行時間から距離を求めるには、速さを知る必要がある。ヘラクレス航空機の速さの見当をつければ、ロバート・リードが旅した距離を概算できる。しかしこの考え方はあなたが想像する以上に奥が深い。光速は特別である。光速はあなたがどう動いているかにまったく無関係である。だから、実際、すべての旅行を時間、つまり光がその距離を進むのに必要な時間で表すことができるのである。これはアインシュタインの相対性理論の出発点である。

交通

交通は過去百年間に急速に発展したので、現在私たちが1日に移動する距離は、1世紀前には考えられないほど長くなった。1日あたりの私たちの旅を（例えば路上を8時間進むとして）、旅行時間を測るのにふさわしい単位とみなすことにすると、この時間内に進める距離はどれだけ変わっただろうか。

今日では、1日に移動できる距離は大変長い。遺伝学者のスティープ・ジョーンズは次のように書いている。「近年における人類の進化において、最大の出来事が自転車の発明であることは、疑う余地がない。」スティープ・ジョーンズによると、自転車が発明されて、人々は自分の共同体内かごく近隣の共同体の人としか結婚しなかった時代には、起こり得なかったような遺伝子プールの混合を起こすようになった。交通の進歩は人々に非常に大きな個人的自由をもたらした。



リーズから8時間でどこまで行けるだろうか。図の円弧は、各種の交通手段で、その最高の速さを持って8時間に進むことのできる距離を示している。これらの距離は、実際より多く見られるが、それはなぜか。

由をもたらした。

速さ

リーズからイングランド北部のペン丘陵を経てマンチェスターへ至る経路は、通商にとって長年重要な役割を果たしてきた。そこには荷馬車道、水路、鉄道、そして高速道路が作られた。リーズからマンチェスターまでの直線距離は約35マイル（訳注：56キロメートル）である。列車で1時間、車だと75分、貨物船だと33時間かかる。どの場合も、旅の平均の速さは、その交通機関の速さから予想されるものよりいくらか遅い。車の場合、私は高速道路を時速70マイル（訳注：112キロメートル）の速さで運転できる。そこで35マイル走るのにかかる時間は、

$$\text{速さ} = \frac{\text{距離}}{\text{時間}} \quad \text{記号で示すと} \quad v = \frac{s}{t}$$

$$\text{したがって} \quad \text{時間} = \frac{\text{距離}}{\text{速さ}}$$

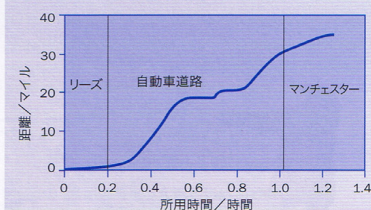
$$\text{この場合} \quad \text{時間} = \frac{35 \text{ マイル}}{70 \text{ マイル/時}} = 0.5 \text{ 時間}$$

となる。

もちろん実際にはもっとずっと時間がかかる。すべての行程をこの速さで走れるわけではないからである。ラッシュアワーでのM62号線や市街地の交通事情などがその原因である。このことは距離—時間のグラフにはっきり表れる。

このグラフ自体が一つの物語を語っている。この旅の各段階で何が起きているかを考えてみよう。私が渋滞に巻き

リーズからマンチェスターまでの旅



・旅の距離と時間と速さ

ファインマン物理学I 力学 「8章 運動」

(中略)

さて、我々の話は軌道に乗ったようである。話はこうである。車の女の人が $\frac{1}{1000}$ 時間走りつづければ、60 マイルの $\frac{1}{1000}$ だけ進むはずである。いいかえれば1時間走りつづけるということはいらない；問題は、ある瞬間にこのスピードで走っていたというのは、何のことかということなのである。これの意味は、彼女が時間的にもうちょっと走ったら、その間に走る距離は、1時間に60マイルの一定のスピードで走る車の距離と同じであるということである。

(中略)

上の定義の中には、一般的の形でギリシャ人にはなかった新しい考えが入っている。それは微小な距離とそれに対応する微小な時間を考えてその比をつくり、時間を短く短く短くしたら、この比がどうなるかをみるということである。いいかえれば、進んだ距離をそれに要した時間で割って、時間が無限に短く短くなったときの極限を求めるのである。この考えは、ニュートンとライプニッツとによって独立に出されたものであって、微分学という数学の新分野のはじまりである。微分学は運動を記述するために発明されたものであって、その第一の応用は、“時速 60 マイル”で走るというのはどういう意味かということとを定義する問題であった。

……女の人の運動する自動車が白バイにつかまった。巡査が彼女のところへやってきて、こう言う。「奥さんは時速六〇マイルで走っていましたね！」彼女は言う。「そんなはずはありませんよ。まだ七分間しか走っていないのですよ。おかしいですね——まだ一時間も走らないのに一時間六〇マイル走れるはずはないじゃありませんか？」もしも諸君が警官だったら何と答えるか？……我々はこう言う。「奥さん、我々が言うのはこういう意味なのです。あなたがいままでどおりに走りつづけていたら、次の一時間に六〇マイル行くだろうということなのです。」彼女は言う。「さあ、私はアクセルを踏んでいませんでした。車のスピードはだんだん落ちていました。ですからいままでどおりに走りつづけても、六〇マイル行くはずはありません。」……さっきの女の人はこうも言える。「いままでどおりに一時間走ったら、街のつきあたりの塀にぶつかってしましますよ！」我々が意味するところを説明するのは、そんなにやさしいことではないのである。

『ファインマン物理学I 力学』坪井忠二訳より

典型的な日本の教科書

第1章 運動の表し方

小球の落下や、投げたボールの軌跡など、地上における物体の運動は17世紀ころの科学者たちによって調べられた。この章ではまず、物体の運動を表す量として速度と加速度について学び、速さが変化する物体の運動を式で表す。次にその例として、落体の運動について学ぼう。



実験を行うガリレイ

ガリレイは、斜面を利用して、物体が落下するようすを調べた(→p.98)。

1 速度

A 速さと等速直線運動

①速さ 物体が運動するとき、その移動距離を経過時間とわったもの(単位時間当たりの移動距離)を **速さ** という。移動距離を x 、経過時間を t とすれば、速さ v は次のように表される。

$$v = \frac{\text{移動距離}}{\text{経過時間}} = \frac{x}{t} \quad (1)$$

速さの単位は、距離と時間の単位のとおり方によって異なる。距離の単位をメートル(m)、時間の単位を秒(s)とすれば、速さの単位は **メートル毎秒(記号 m/s)** となる。また、**キロメートル毎時(記号 km/h)** もよく用いられる。乗りものなど、身近な物体の速さを測定してみよう。

問1 自動車が30秒間に360m移動したとき、自動車の速さは何 m/s か。

表1 いろいろな速さの例(おおよその値)

項目	速さ (m/s)
人(徒歩の典型的な値)	1.3
100m 走の世界記録	10
新幹線	89
音(空気中、常温)	340
国際宇宙ステーション	7700
地球の公転	30000
光(真空中)	300000000

用語 単位時間当たり

1秒当たり、1時間当たり、など、「決められた時間当たり」という意味。「単位●●当たり」は、時間以外にもさまざまな量に対して用いられる(例: 密度=単位体積当たりの質量)。

※ p.264 に用語一覧あり

実験1

問2 72km/h は何 m/s か。また、15m/s は何 km/h か。

②等速直線運動 一直線上を一定の速さで進むとき、この運動を **等速直線運動** という。

図1は、水平な面上で等速直線運動をする模型自動車のストロボ写真(暗い部屋で一定時間ごとに光を当てて撮影した写真)である。この写真からわかるように、運動の「速い」、「遅い」は一定時間に移動する距離の大小で比較すればよい。



図1 模型自動車のストロボ写真(③、⑤ともに発光間隔0.05秒) ③、⑤のそれぞれにおいて像の間隔が等しいことから、模型自動車は一定の速さで進んでいることがわかる。また、③のほうが像の間隔が広いことから、③よりも⑤のほうが速いことがわかる。

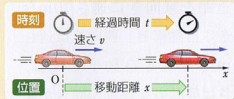
等速直線運動をする物体の進む向きに x 軸をとる。物体が原点 O を通ってからの経過時間を t [s] とすると、物体の位置 x [m] は、 t 秒間の移動距離に等しい。物体の速さを v [m/s] とすると、次の式が成りたつ。

等速直線運動

※ 巻末付録に「おもな公式一覧」あり

$$x = vt \quad (2)$$

x [m] 移動距離
 t [s] 経過時間 (time)
 v [m/s] 速さ
条件 一直線上の運動で、速さ v が一定



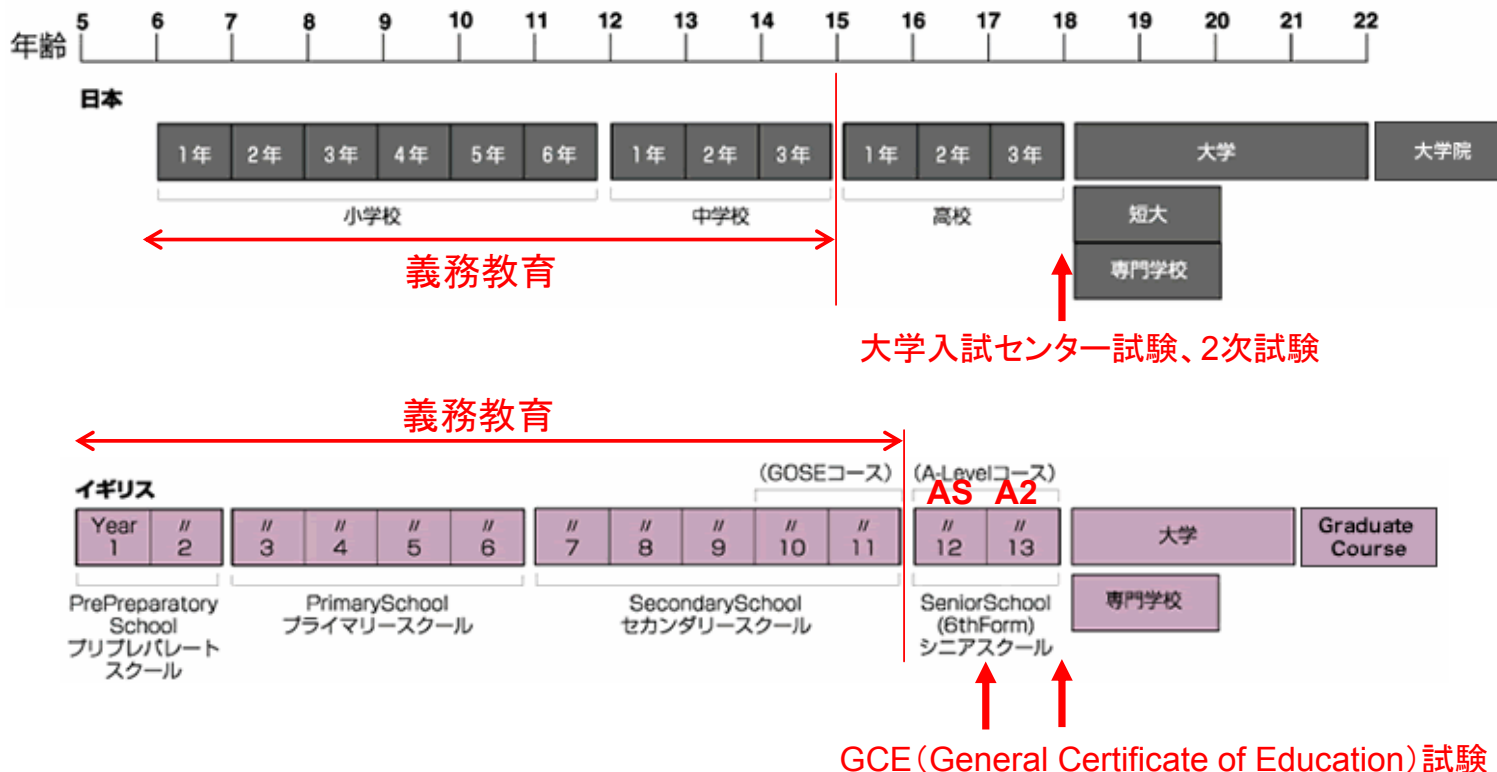
問3 エレベーターが一定の速さ 2.0 m/s で上昇中のとき、15秒間に上昇する距離は何 m か。

① 1時間(h)当たりの移動距離(キロメートル, km)。h は hour(時間)の頭文字を表す。
② 英語(の物理用語)では、速さを speed、速度(→p.8)を velocity という。しかし、速さを文字記号で表すときは、velocityの頭文字である v を用いるのが一般的である。

編集部（現場の先生）からの要望

- 分量を増やさないで欲しい。
- どこが要点（覚えるべきところ）かを明確にして欲しい。
- 大学入試センター試験に対応できるようにして欲しい。

なぜ英国で斬新な教科書作成が可能なのか？



- ⇒ 5つの民間の試験機関が、それぞれ2つまでシラバスを作れる。
- ・シラバスは60%の内容にコア(ナショナルカリキュラム)を含めば、残り40%は自由。

<http://www.angelus.co.jp/daigakuhp/systembig.html>

GCE試験の例（OCRの場合）

OCR: Oxford Cambridge and RSA Examinations



Monday 11 June 2012 – Afternoon

A2 GCE PHYSICS B (ADVANCING PHYSICS)

G495 Field and Particle Pictures

Candidates answer on the Question Paper.

OCR supplied materials:

- Data, Formulae and Relationships Booklet (sent with general stationery)
- Insert (inserted)

Other materials required:

- Electronic calculator
- Ruler (cm/mm)

Duration: 2 hours



- 4 Fig. 4.1 shows a sketch graph of average binding energy per nucleon against nucleon number.

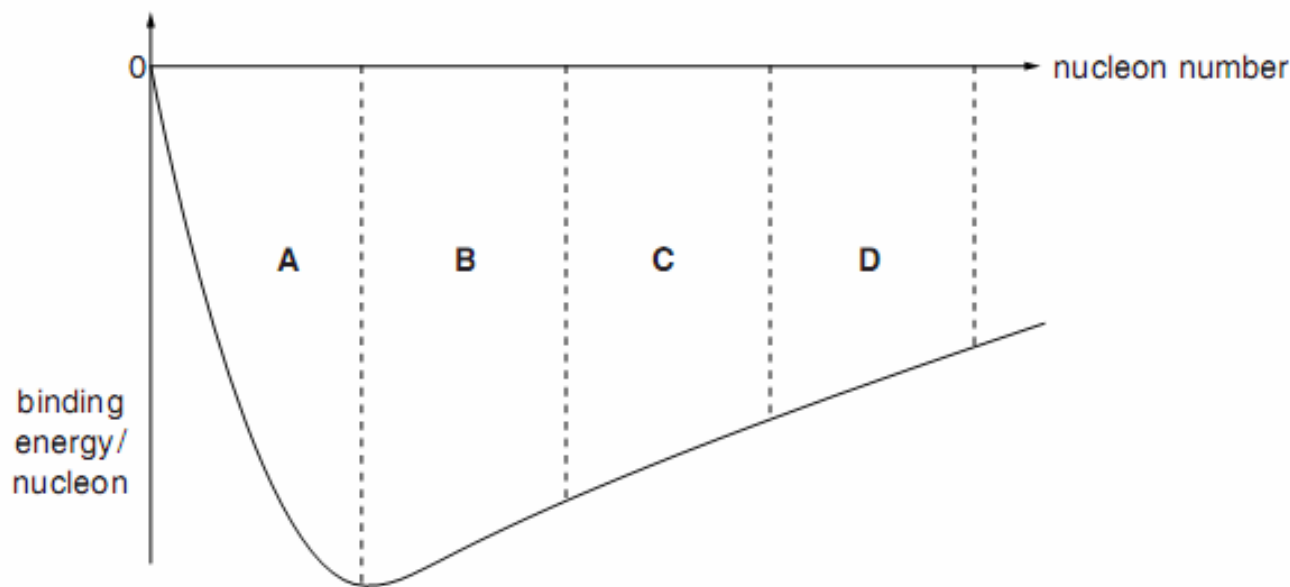


Fig. 4.1

- (a) The Sun releases energy through nuclear **fusion**. State in which region, **A**, **B**, **C** or **D** on the graph, nuclei may release energy through fusion.

region [1]

- (b) The Sun releases energy at a rate of $4 \times 10^{26} \text{ W}$.

Calculate the mass lost by the Sun in one second.

$$c = 3.0 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

定量的な問題が多い

- 7 In April 1986 the Chernobyl nuclear reactor released radioactive caesium-137 into the atmosphere. Caesium-137 has a half-life of 30.1 years.

Show that, in June 2012, approximately 26 years after the release, less than 60% of the caesium-137 remains.

1986年4月にチェルノブイリ原子力発電所から放射性セシウム137が大気中に放出された。セシウム137の半減期は30.1年である。放出から約26年後の2012年6月現在、残っているセシウム137は60%以下であることを示しなさい。

- 10 This question is about using accelerated protons in medicine.

この問題は、加速された陽子の医療への利用に関するものです。

The protons are accelerated to kinetic energies of 220 MeV. The rest energy of a proton is 940 MeV.

陽子は運動エネルギー220MeVまで加速されているとします。陽子の静止エネルギーは940MeVです。

- (b) In a medical procedure a cluster of cells of total mass 3.0×10^{-4} kg is irradiated with 220 MeV protons.

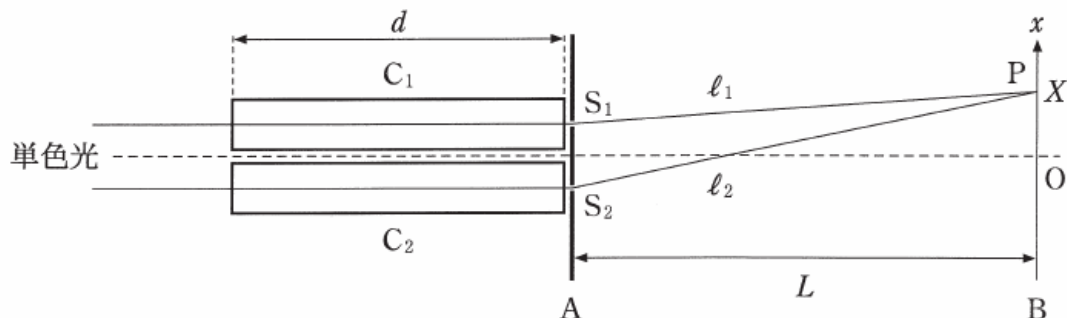
Show that it will take at least 10^5 protons to deliver an effective dose equivalent of 125 mSv to the cluster of cells.

$$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$\text{quality factor of protons} = 10$$

治療では 3.0×10^{-4} kgの細胞の塊に220MeVの陽子を照射する。線量当量が125mSvとなるために照射すべき陽子の数は最低でも 10^5 必要であることを示せ。線量係数は10とせよ。

平成24年度 東大2次試験(物理)



Ⅲ C_2 の容器内を真真空に保ったまま、 C_1 の容器を絶対温度 T 、1 気圧 (101.3 kPa) の気体で満たした。このときの気体の屈折率を n とする。

(1) C_1 の容器が真空状態から絶対温度 T 、1 気圧の気体で満たされるまでに、それぞれの明線はスクリーン B 上を距離 ΔX だけ移動した。気体の屈折率 n を、 ΔX を用いて表せ。

(2) (1)で、原点 O を N 本の暗線が通過した後、明線が原点 O にきて止まった。気体の屈折率 n を、 N を用いて表せ。

(3) 気体の屈折率を精度よく求めるには、測定値の正確さが重要になる。いま、(1)で測定した ΔX は 0.1 mm の正確さで測定でき、(2)で測定した N は 1 本の正確さで数えられるとすると、気体の屈折率は(1)の方法、(2)の方法のどちらが精度よく求められると考えられるか。理由を付けて答えよ。ただし、 $d = 2.5 \times 10^2 \text{ mm}$ 、 $L = 5.0 \times 10^2 \text{ mm}$ 、 $a = 5.0 \text{ mm}$ 、 $\lambda = 5.0 \times 10^{-4} \text{ mm}$ とすること。

講義は効果的か？

物理教育の改革

深い理解に導くために

カール・ワイマン, キャサリン・パーキンス

物理教育の現場でいろいろ道具をうまく利用することにより、丸暗記から理解と納得へと学生を導くことができる。

科学のコミュニティは、科学教育をこれまでよりはるかに大きな割合の学生にとって有効であり、かつ関心をもてるものに変えなければならない。これは、過去数十年にわたる環境や社会の大きな変化の結果、必要になってきた。第1に、社会はいまや、本質的に技術が関係する地球スケールの危機に直面している——たとえば、気候の変動、遺伝子の操作、エネルギーの供給等である。そのような問題に対しては、これまでより科学・技術リテラシーがはるかに高い市民のみが、賢明な意志決定をすることができる。第2に、現代経済は非常に深いところまで技術に依存しているので、科学や技術についてよりよく理解し、より高度の技術的手法による問題解決能力をもつことは、職業の種類によらず、個人の職業上の向上心を高める。さらに、現代経済は、高レベルの技術の理解とスキルをもった労働力がある場合のみ、繁栄を続けることができる。

科学コミュニティのなかにいるわれわれは、いまや次のように自問しなければならない。「理系のすべての学生に対する教育を、われわれはどれほどうまくやっているだろうか」と。この目標は、将来科学者になる可能性のあるごくわずかの部分の学生を訓練することが科学教育の目標であった時代のもの、と大いに異なる。この新しい、幅広い科学教育への需要は、次世代の科学者の養成の必要性を排除するものではない。それどころか、すべての学生に対する教育の改善は、より多くの、よりよい教育を受けた科学者や技術者を生み出すことになるだろう。この主張を支持するデータとして、昨今、物理学を主専攻として卒業する学

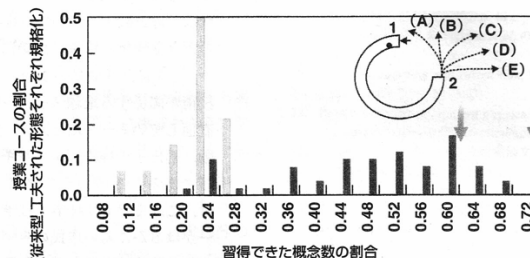
生の割合は、学生に科学する力があるかどうかよりも、通常型の物理科学の授業を我慢して聞いていられるかどうかに依存するというデータがある¹⁾。

さまざまな理由により、物理コミュニティは、有効で適切な科学教育をすべての学生たちに提供することを率先して始めるべきであり、またそれが可能である。それだけでなく、それはよく考えると彼らの自己利益のためにもなる。よりよく教育された市民は、物理学的な研究を支援することに、より深い理解を示すことだろう。

しかし、「効果的な」物理教育とは、具体的に何を意味するのだろうか。それは、学生たちが物理学や物理学の問題解決法に対する考え方を変えて、専門家すなわち現役の物理学者のように考えるようになるような教育である²⁾。専門家は、物理の中身を、実験によって確立された、自然を記述する一般的な概念の統一的な構造と見なし、幅広い多様な状況に適用できる系統的な概念に基づいた問題解決法を採る。大多数の人々(“初心者”)は物理を、ある種の権威者から授けられたバラバラの知識の集合体であり、実際の世界とは無関係であると思っている。初心者にとって、物理とは単に、知識の記憶と、非常に特殊な状況設定における問題解決法の練習を意味する²⁾。

従来型の授業法に関する研究

平均的な学生が専門家と同じように考えられるようにすることに、従来型の指導がどれほど成功しているかを検討してみよう。従来型の科学の指導法は、圧倒的多数の大学の物理学コースで用いられており、よく知られた特徴をもっている。大部分の授業時間は



〈図1〉 学生たちの理解度

学生たちは、従来型の物理の授業コースでは、比較的少数の概念しか身に付けられない。この棒グラフは、“力の概念調べ(FCI)”の平均習得率——すなわち、学生たちが授業開始前には知らなかった概念を理解した割合——の分布を示すものである。灰色は14個の従来型の授業、紺色は学生に発言させ作業させるさまざまな技術を使った48の授業の結果である。矢印は、十分に実証された研究に基づいた教授法¹⁶⁾を採用した大教室の授業のデータである。グラフ内の図は、典型的なFCIの問題の1つで、管を飛び出したボールがたどる軌跡を問う問題である。(Adapted from ref. 7.)

自明でない、あるいは直感に反する
事実を講義で示されたときの定着率:
「15分後に10%」

兵頭俊夫 訳

Transforming Physics Education

Carl Wieman and Katherine Perkins

Carl Wieman, coresipient of the Nobel Prize in Physics in 2001 and the Carnegie-CASE US University Professor of the Year in 2004, is a Distinguished Professor of Physics at the University of Colorado in Boulder. Katherine Perkins is an assistant professor of physics at attendant rank at the University of Colorado.

Physics Today Vol. 58 No. 11
© 2005 American Institute of Physics

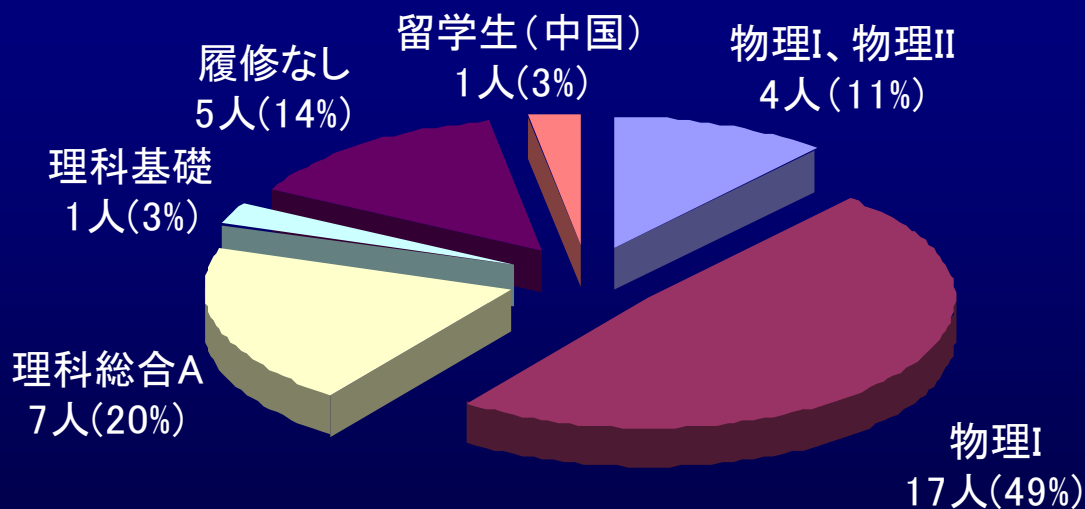
米国における物理教育研究(PER)



■目次

- 第1章 導入と動機づけ
- 第2章 認知科学の原理から導かれる授業へのガイドライン
- 第3章 物理授業には教える内容以上のものがある：
隠れたカリキュラム
- 第4章 学習評価の方法とその高度化：宿題と試験
- 第5章 われわれの授業を評価する：調査
- 第6章 教育指導への示唆：いくつかの効果的な教授法
- 第7章 講義を基本とする方法
- 第8章 演習と学生実験を基礎とした方法
- 第9章 ワークショップ方式とスタジオ方式
- 第10章 物理スイートを使う

力学B(物理未修コース)受講者の 高校における物理科目履修状況



講義のWebページ

科目:平成25年度夏学期 力学B (524教室) 平成23年度のHPIは[こちら](#)

※第1回～第9回レポートを16号館224Aのボックスにて返却中

担当:鳥井 寿夫(とりのい よしお)

居室:16号館224A

tel: 03-5454-6757 (内線46757)

e-mail: ytorii@phys.c.u-tokyo.ac.jp

授業日:毎週木曜2限10:40～12:10、4月11日～7月4日(計13回)

評価:毎回の授業で出されるレポート(50%) + 期末試験(50%)

レポートの提出期限:次回の授業の開始前。教室にて回収。

教科書:特に指定しない。以下に参考書を挙げる

① **ファインマン物理学I「力学」**(岩波書店)

ノーベル物理学賞のファインマンが1960年代にカリフォルニア工科大学で(たった一度だ!)行った1,2年生向けの講義を録音し、それを同僚のレイトン、サンズが書にまとめ上げたもの。「力学」という枠にとらわれず、物理学全体または他の学問分野を常に視野に入れた説明は、他の教科書では見られない。図や具体例で、数学の説明も丁寧である。今や古典的名著である。他の巻(Ⅱ～Ⅴ)も含めて、物理に関わる学生は、できれば原書で読んでもらいたい。

② **藤原邦夫著・物理学序論としての力学**(東京大学出版会)

古典力学の歴史的背景がよくわかる。脚注や補足説明多い。実際に著者が行った実験データが多数取り入れられており、情熱が伝わってくる。実のある一冊。

③ **兵頭俊夫著・考える力学**(学術図書出版)

力学で押さえるべき内容をシンプルにまとめている。数学の説明が丁寧である。身近な例をふんだんに取り入れてあり、面白く読める。物理未修者にはおススメ

回	日付	内容	レポート問題	配布物	講義スライド
1	4/11	物理学とは、不確かさ、単位系、物理量と単位、次元解析	pdf	なし	pdf
2	4/18	平均値の不確かさ、速度と加速度の定義、等速円運動	pdf	x-t, v-t, a-t グラフ	pdf
3	4/25	ガリレオの落体の法則、ケプラーの法則、ニュートンの運動の3法則と万有引力	pdf	なし	pdf
4	5/2	等価原理、キャベンディッシュの実験、放物運動、モンキーハンティング、重さとは何か	pdf	なし	pdf
5	5/9	力のつりあいと作用・反作用の法則、運動量と力積	pdf	なし	前回の続き
6	5/16	運動量保存則、様々な力(フックの法則、摩擦力、垂直効力、張力、慣性抵抗、粘性抵抗)、1階線形常微分方程式	pdf (別紙)	なし	pdf
7	5/23	テイラー展開とマクローリン展開、オイラーの公式、2階線形常微分方程式の解法、単振動、終端速度	pdf	なし	pdf 修正版 pdf
8	5/30	アルミカップの終端速度、減衰振動、強制振動と共鳴、	pdf	アルミカップ(希望者のみ)	pdf
9	6/6	極座標を用いた運動の記述、相対運動と慣性力	pdf		pdf
10	6/13	遠心力とコリオリ力、フーコーの振り子	pdf (補足)	←問3(2)の補足(ヒント)	改訂版 pdf
11	6/20	仕事の原理、運動エネルギーとポテンシャルエネルギー、保存場、エネルギー保存則	pdf (別紙)		pdf
12	6/27	角運動、トルク、慣性モーメント、角運動量保存則	pdf	授業評価アンケート	pdf
13	7/4	剛体の力学、やじるべえ、地球こま、歳差運動	pdf (最終回)		改訂版 pdf
補講	7/11	時間が許す限りレポート問題の解説をします。教室は通常の524			

<http://maildb.c.u-tokyo.ac.jp/~torii/lectures/MC/>

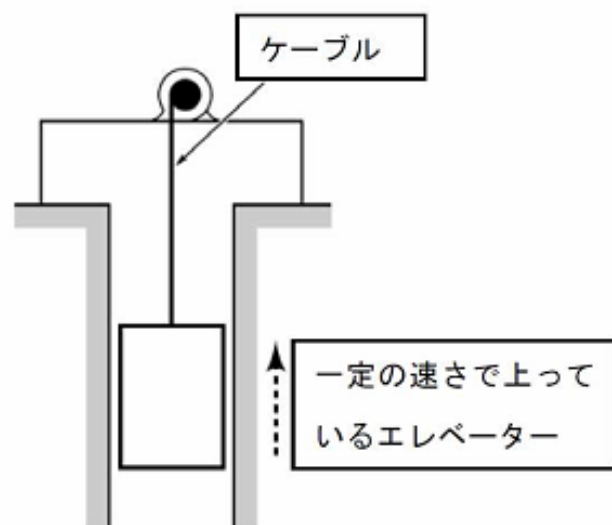


問 15. トラックを押し続けている自動車が、ある速さを目指してスピードを上げているとき、

- 20人 (1) 自動車がトラックを押す力の大きさは、トラックが自動車を押し返す力と等しい。
- (2) 自動車がトラックを押す力の大きさは、トラックが自動車を押し返す力より小さい。
- 15人 (3) 自動車がトラックを押す力の大きさは、トラックが自動車を押し返す力より大きい。
- (4) 自動車はエンジンがかかっているから押せるが、トラックはエンジンがかかっていないから自動車を押し返せない。自動車の前にあるトラックは当然押し出される。
- (5) 自動車もトラックも他方に力を及ぼしていない。自動車の前にあるトラックは当然押し出される。

正答率57%

問 17. 図のように、エレベーターが鋼鉄のケーブルに引かれて一定の速さで上昇しています。摩擦による影響はすべて無視できるとします。この場合、エレベーターにはたらく力についていえることは、



- 16人 (1) ケーブルによる上向きの力は、重力による下向きの力よりも大きい。
- 14人 (2) ケーブルによる上向きの力は、重力による下向きの力と等しい。
- (3) ケーブルによる上向きの力は、重力による下向きの力よりも小さい。
- 5人 (4) ケーブルによる上向きの力は、重力による下向きの力と空気による下向きの力を合わせた力よりも大きい。
- (5) 上の選択肢のどれでもない。(エレベーターが上がるのはケーブルが短くなっていくからであって、ケーブルから上向きの力を受けているからではない。)

正答率40%

問 25. 大きな箱を、一定の力で水平方向に押しています。その結果、箱は一定の速さ v_0 で水平な床の上を動いています。

箱に加えている、一定の水平方向の力は、

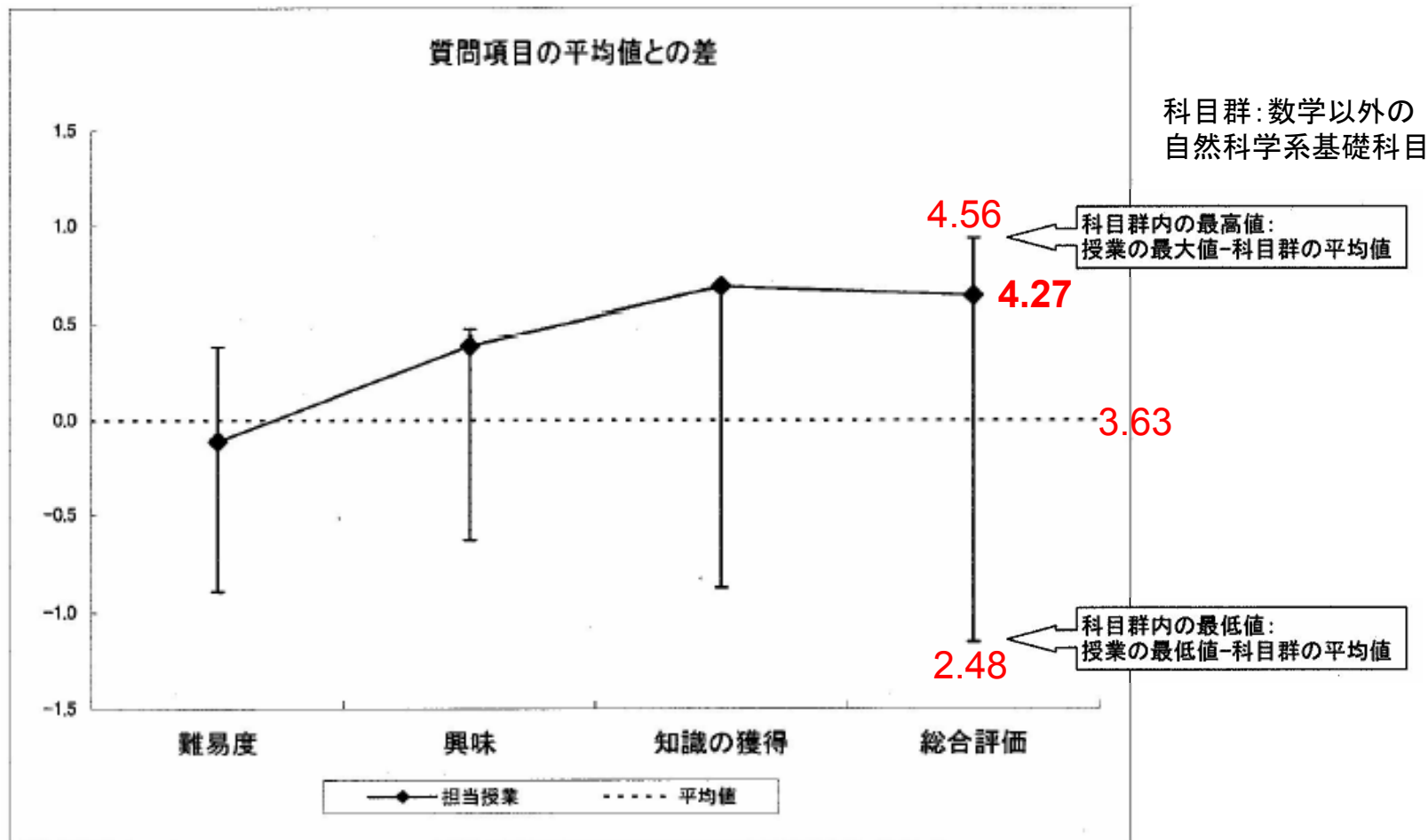
- 1人(1) 箱の重さと大きさが同じ。
- 1人(2) 箱の重さよりも大きい。
- 20人(3) 箱の運動を妨げる力の合計と大きさが同じ。
- 12人(4) 箱の運動を妨げる力の合計よりも大きい。
- 1人(5) 運動を妨げる力の合計と箱の重さのどちらよりも大きい。

問 26. 前問で加えている一定の水平方向の力を 2 倍にして、同じ水平な床の上で箱を押すと、箱は、

- 3人(1) 一定の速さで進み、その速さは 前問の v_0 の 2 倍である。
- 10人(2) 一定の速さで進み、その速さは前問の v_0 より大きい、2 倍までにはならない。
- 0人(3) しばらくの間前問の v_0 より大きな一定の速さで進むが、その後加速する。
- 2人(4) しばらくの間加速して、その後一定の速さで進む。
- 20人(5) 加速し続けながら進む

正答率57%

私はそんなにひどい講義をしたのか？



2013年 力学B(38人履修、32人提出)の授業評価アンケート結果