

# 高校物理という世界

鳥取県立鳥取工業高等学校 足利裕人

## 1. はじめに

「大学へ入ったら高校物理は捨てなさい」。これは以前神戸大学の先生が物理教育学会で言われた言葉である。本当に高校物理は大学では役に立たないのだろうか。だとすると、現在、高大連携事業として鳥取大学で行っている教養基礎科目「物理」という、高校で物理を全く、または物理 までしか履修していない学生に行っている講義は意味がないことになる。

しかし、高校物理教科書の編修委員をしていたとき、「高校物理は閉じられた世界だ」という指摘を大学の先生からよく聞いた。外国の教科書は厚さもあり、オープンエンドになっている。日本の教科書はページ数が制限され、入試を難しくしないという学習指導要領の制約が大きい。物理用語や記号が大学や産業界と異なる使われ方をしていたり、まさに閉鎖された世界を形成している。

## 2. 学習指導要領による理科教育の衰退

ゆとり教育の見直しが始まったが、ゆとり教育は教科書のレベルを下げ、アジアの近隣諸国の理数教育からも遅れをとるようになり、非効率的（無駄）な時間を増やす結果となった。また、週5日制の導入による総時間数の減少と、総合的学習の時間や情報科の新設等があり、高等学校における理科の授業時間数はかなり強い制限を受けており、単位数の増加はあまり見込めない。各都道府県の教育センターでは、理科専任の指導主事がいなくなり、掛け持ちで研修講座を組む（研修企画課等）ようになった。まさに教育センターの理科実験室は廃墟化が進んでいる。

管理教育の強化（校長の権限の強化）で理科の教師も職員室で集中管理され、理科室で実験の準備や片づけ等の時間がとりにくくなった。また、仕事の効率化に逆行したネットワーク環境で、教材研究の時間はますます減少している。

かつて高校で物・化・生・地の全てを履修していた時代もあったが、現行の高校では物理・化学を必修化し、自然科学の基礎を十分固める必要があると思われる。ただし、大半の高校の理科の教師は自分の専門が科学の一番の基礎だと信じ込んでいる（消えていった地学は別として）。しかし、両親が国立大学の生物の教授をしていた生徒を担当したが、高校では苦手の物理と化学を履修し、大学で生物を学んで親の跡を継ぐよう、この生徒は親に指導を受け、東大へ進学した。

新学習指導要領の改訂も疑問点が多い。物理担当の委員の先生は歯がゆい思いで会議にのぞまれた方もおられる。東京都の私学の高校では、旧課程の教科書を購入して物理の授業を行うところが多かった。できれば、オープンエンドな発展的内容をどんどん入れ、数学との連携を深め、思い切って微積分の制約もゆるめ、効率よく展開できる教科書の制作を許可する方針を望みたい。

## 3. 物理 と物理 の接続の悪さ

現行の指導要領では、中学校からの多くの学習内容が移行した。「物理 I」に「生活の中の電気や磁気」を扱う項目がありますが、この章の学習内容の多くは既に中学校で扱われ、定性的な扱いに止まっている。また、中学校の学習内容から省かれて高等学校に移行してきた「力の合成や仕事と仕事率」などもある。さらに、「浮力、水圧、フックの法則、質量と重さの違い、熱量、比熱」などが「物理 I」に移行してきた。これらの結果、「物理 I」から「物理 II」に「運動量と力積、静電場や電位、電子と原子や放射能」といった内容が移行した。

現行の学習指導要領の物理 と物理 を比較してみよう。

## 物理

物理 は極力数式を使用しないで日常に現れる物理現象の理解を得ることとある。多くの学校は旧来の「力学」からスタートする。数学的に扱いにくいいため、定性的なイメージの問題に偏り、理解が薄い。内容的におもしろい話題が減ったため、つまらない教科書になった。

### (1) 電気 \*この単元は全く無駄。物理 の電気とまとめて指導すべき

生活の中で用いられている電気や磁気の性質を観察、実験などを通して探究し、それらへの関心を高めるとともに、基本的な概念や法則を理解させ、電気の性質と日常生活とのかかわりについて認識させる。

#### ア 生活の中の電気

(ア) 電気と生活 (イ) モーターと発電機 \*磁束の時間変化を扱わず、フレミングの左手の法則と右ネジの法則、レンツの法則のみで電磁誘導のイメージだけを扱う(ウ) 交流と電波 \*ピーク値は141Vを指導してはいけない。時間平均の概念を出さないという制約からだろうか。規制の必要性が感じられない。

### (2) 波

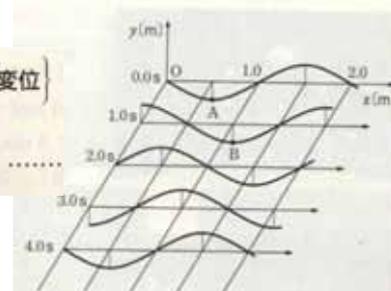
地震波、水波、光、音などいろいろな波について共通の性質を観察、実験などを通して探究し、波動現象についての基本的な概念や法則を理解させる(計算なしで本質の理解は困難)とともに、それらを日常生活と関連付けて考察(定性的な直感だけで考察させるのは無理)できるようにする。

#### ア いろいろな波

#### イ 音と光

(ア) 音の伝わり方 \*単振動がないため、空間を伝播する波の式が使えない。そ

$$y = \left( \text{原点の媒質(点o)の時刻} \left( t - \frac{x}{v} \right) \text{における変位} \right) \\ = A \sin \frac{2\pi}{T} \left( t - \frac{x}{v} \right) = A \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \dots\dots$$



れにもかかわらず、進行波のイメージを問う問題がある。

(イ) 音の干渉と共鳴 \*定常波を形成する計算ができないため、定量的な理解に欠ける(ウ) 光の伝わり方 (エ) 光の回折と干渉

### (3) 運動とエネルギー

日常に起こる物体の運動や様々なエネルギーの現象を観察、実験などを通して探究し、それらの基本的な概念や法則を理解させ、運動とエネルギーについての基礎的な見方や考え方を身に付けさせる。

\*一直線上の運動のみ扱うという大きな制約がある。しかし、教科書や問題数の多くは水平投射や斜方投射の例を挙げていて矛盾。基本的な物理量で、歴史的にも早くから登場した運動量が物理 にまわった。運動の法則は運動量の時間微分であるのに。

#### ア 物体の運動

(ア) 日常に起こる物体の運動 \*ここは運動方程式の後にまとめるべき (イ) 運動の表し方 (ウ) 運動の法則

#### イ エネルギー

(ア) エネルギーの測り方(イ) 運動エネルギーと位置エネルギー (ウ) 熱と温度 \*定性的で中途半端。ここでは不要。物理 でしっかり扱っており、重複が多い (エ) 電気とエネルギー (オ) エネルギーの変換と保存

## 物理 II

高校卒業後，大学の理工系学部に進む生徒が高校時代に学習すべき標準的な内容を含んだもの。

「物理 II」の学習内容が非常に過密になった。物理 II には従来から，「単振動，円運動，気体分子運動，電流と磁気，原子と原子核」などが含まれているが，さらに，「運動量と力積，静電場や電位，電子と原子や放射能」といった内容が移行した。

新学習指導要領の特徴の 1 つは，物理 II の学習内容に選択項目が作られたことである。これは，学習指導要領という法文上の解釈に従うと両方学習することが前提となっている。物理 II の選択項目は，学習指導要領の(3) 物質と原子，(ア)「物質の三態，分子運動と圧力」(イ)「原子と電子，固体の性質と電子(バンド理論を含む)」と(4) 原子と原子核，(ア)「粒子性と波動性，量子論と原子の構造」(イ)「原子核，素粒子」である。これらの項目をすべて学習すると，物理 II の 4 単位では大変過密な内容であり，高校 3 年の生徒の負担は大きく，詰め込み授業を助長しかねない。

### (1) 力と運動

運動とエネルギーについての基礎的な見方や考え方に基づき，物体の運動を観察，実験などを通して探究し，力と運動に関する概念や原理・法則を系統的に理解させ，それらを応用できるようにする。

#### ア 物体の運動

(ア) 平面上の運動 \*物理 で片づく (イ)運動量と力積 \*運動方程式の前に出すべき(歴史に逆行)(イ)円運動と万有引力(ウ)円運動と単振動 \*単振動は波動の前に出すべき。微分が使えないのでアナロジーとして円運動を使うためここに配置 (エ)万有引力による運動 \*宇宙への夢がふくらむ話の記述がない

### (2) 電気と磁気 \*物理 の電気はここから分離したもの。重複が多くて無駄が多い

電気や磁気に関する現象を観察，実験などを通して探究し，電気や磁気に関する基本的な概念や原理・法則を系統的に理解させ，それらを様々な電磁気現象に応用して考察できるようにする。

#### ア 電界と磁界

(ア)電荷と電界 (イ)電流による磁界

#### イ 電磁誘導と電磁波 \*ここで微積分を駆使すると理解が進むのだが

(ア)電磁誘導 (イ)電磁波

### (3) 物質と原子

物質と原子に関する現象を観察，実験などを通して探究し，物質の物理的な性質が原子や分子などの運動によってもたらされることを理解させ，固体の性質を電子の状態と関連付けて考察できるようにする。

#### ア 原子，分子の運動

(ア)物質の三態 (イ)分子の運動と圧力 \*物理 で扱うとよい

#### イ 原子，電子と物質の性質

(ア)原子と電子 (イ)固体の性質と電子

### (4) 原子と原子核

光や電子の波動性と粒子性，原子や原子核，素粒子における現象を観察，実験などを通して探究し，量子的な考えなど基本的な概念や原理・法則を理解させる。

#### ア 原子の構造 \*量子力学(にも触れる)が現在の半導体技術を進めていることを記述する

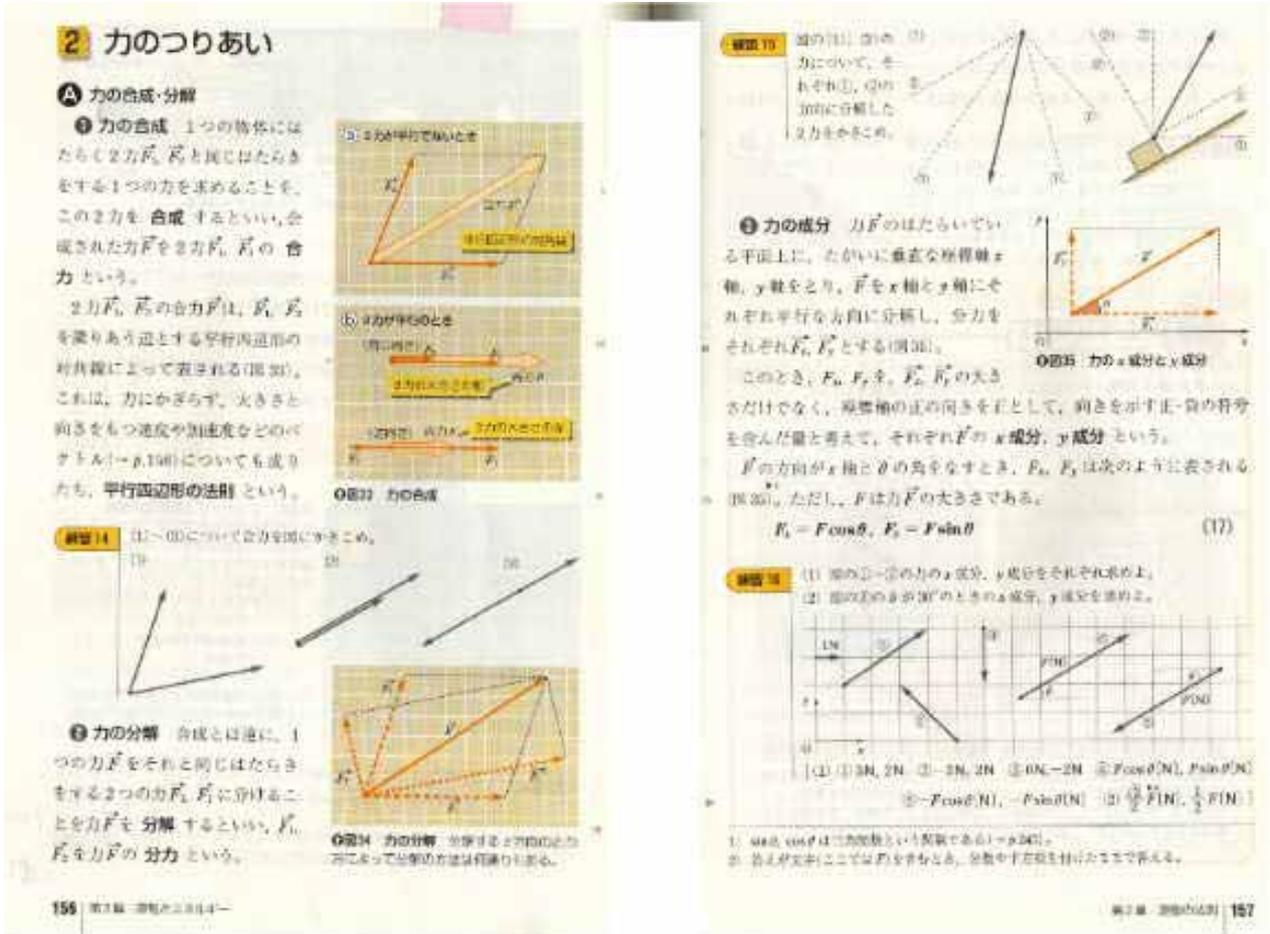
(ア)粒子性と波動性 (イ)量子論と原子の構造

#### イ 原子核と素粒子

### 3. 数学と物理の連携の調整は文科省の役目

#### (1) 数学の基本概念は物理で先に教える場面が多い

- ・ベクトル・数列は数C



- ・三角関数・指数関数・対数関数・微分・積分は数

基本的なことは物理や理科総合 A で先に行うが、長所として物理では具体的な例を用いるので、生徒には分かりやすい。短所としては物理の内容を指導する時間が減る。

#### (2) 物理の教科書では微積分の記述は不許可

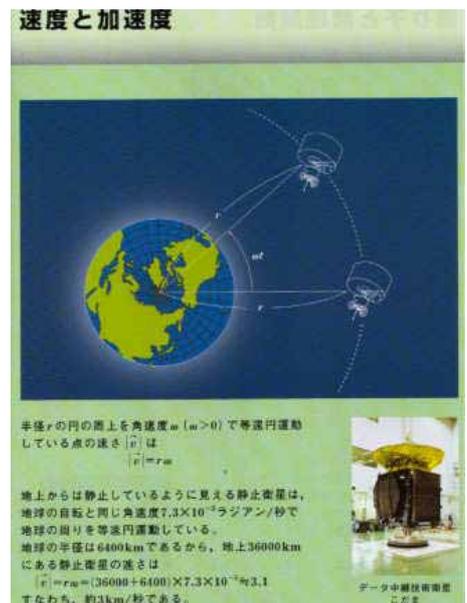
進学校・予備校では常識的に使用しており、効率よく公式を生産し、理解も進む。しかし、入試問題が高度になりすぎると学習指導要領では禁じている。旧共産圏諸国は微積分で効率よく授業を展開している。

例；落下運動の本質は  $a=-g$  のみ

$$f=ma \quad f= (mv) / t \quad f \quad t = (mv)$$

・微積分で発達した物理の歴史にそむく、アナロジーで構成された高校物理

- ・不要な公式を多く暗記する生徒に論理性は育たない。彼らは理科嫌いに育つ



・微分方程式が高校数学から消えた！

しかし、今回の指導要領に微分方程式が発展分野（本文には記述できない）であっても導入された。

「数研出版 数学」の教授資料冊子における「微分方程式」の記述に関する指導上の注意事項

・ 微分方程式は、前学習指導要領のときから高校では指導されなくなったが、自然科学を学ぶ際の重要な方法として、その意義を理解させる。

・ 解法については、ほんの入り口にとどめて、深入りは避ける。

ニュートンとライブニッツによる微分・積分学の創始以来、微分方程式を解くことによって、自然科学と数学が手を携えて発展してきたことにも触れる。

\* 参考

京都大学は数学で微分方程式を出題と明記

平成19年度入学者選抜における学力検査実施教科・科目等について

・ 個別（第2次）学力検査等について

2. 数学について

選択分野及び出題範囲に対する注意

「数学」は、簡単な微分方程式及び曲線の長さを含みます。

(2) 補足説明

教科書において「発展」等として扱われている内容であっても、新指導要領の趣旨を踏まえて高等学校の生徒が論理的に思考して理解できる程度の内容は、出題範囲とします。

上記の発展的内容、「数学」の微分・積分で出題範囲とする一般の多項式や体積の内容、「数学」で出題範囲とする微分方程式と・・・の内容に関しては、旧指導要領及び過去の指導要領（昭和57年度から平成5年度）の内容が目安となります。

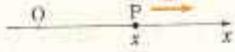
4. 高校物理だけで通用する世界

閉鎖的でオープンエンドの記述を排除し、独自に発展をとげた高校物理だけで通用している世界を以下に挙げてみた。

(1) 等速度運動、相対速度、等加速度運動等の質量や力を扱わない運動の軌跡のみについての記述の跡、

**③ 微分方程式**

点Pが、 $x$ 軸上を一定の速度  $a$  で運動する場合、時刻  $t$  におけるPの座標を  $x$  とすると、 $x$  は  $t$  の関数であって

$$\frac{dx}{dt} = a \quad \cdots \text{①}$$


① を満たす。

また、物体が自由に落下する場合、基準の点Oから鉛直上方に向かう直線を  $y$  軸にとり、時刻  $t$  における物体の位置を、その座標  $y$  で表すと、 $y$  は

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -g \quad \cdots \text{②}$$


② を満たす。ただし、 $g$  は重力の加速度の大きさである。

等式①、②では、 $t$  の関数  $x$ 、 $y$  がそれぞれ満たす条件が、関数の導関数で示されているだけで、具体的に  $t$  のどのような式で表される関数であるかは未知である。

一般に、未知の関数の導関数を含む等式を、微分方程式という。

③  $a$ 、 $g$  を定数とすると、微分方程式

$$\frac{dx}{dt} = a \quad \cdots \text{①}, \quad \frac{d^2y}{dt^2} = -g \quad \cdots \text{②}$$

を満たす関数を求めてみよう。

①の両辺を  $t$  について積分すると

$$x = at + C, \quad C \text{ は任意の定数} \quad \cdots \text{③}$$

③ 定数  $C$  がどのような値をとっても、③は微分方程式①を満たす。

また、②の両辺を  $t$  について積分すると

$$\frac{dy}{dt} = -gt + C_1, \quad C_1 \text{ は任意の定数}$$

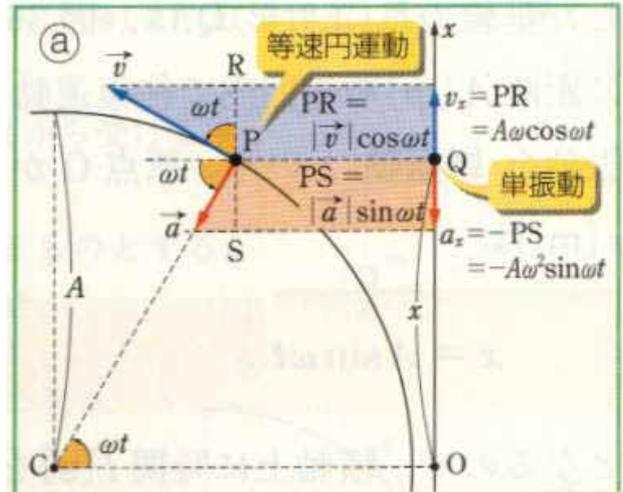
190 発展

自由落下運動や投げ上げ運動を地表付近での物体の運動として扱う。地表付近での物体の運動をニュートンの運動方程式で扱わないため、力の単位をニュートンで表すことの説明が困難である（東京大学兵頭氏）。

(2) 自由落下・鉛直投げ降ろしではy軸は鉛直下向きにとる

座標軸の取り方の一貫性に欠ける。これも  $a=-g$  として時間で積分して速度，距離を求めていく手法が使えると改善できるのだが。

(3) 高校物理の教科書で単振動を説明するのに円運動の直線への射影を用いている。「円運動を直線へ射影すると単振動になる。一方、円運動に関するニュートンの運動方程式をその直線へ射影すると（成分表示すると）単振動の方程式になる。」という並列的な事実の説明でしかないのに、あたかも、それが単振動の運動方程式の解が三角関数で表されることの論理的説明であるかのように記述されている場合がある（東京大学 兵頭氏）。単振動が円運動の正射影のアナロジーとして利用されている。ここも三角関数の微分を用いれば無駄に公式をたくさん覚える必要がなくなる。



(4) 初めにジュールありき

単位 cal が消えたため、ジュールの実験から熱学が始まり、大砲のくりぬき作業による熱の発生や熱素節などが果たした意義など、熱学の歴史が完全に教科書から抹殺された。

(5) 高校物理では Qは存在しない

熱力学第一法則は  $Q = U + W$  と書かれる。Qは熱量で移動するものだから は不要だという説明だそうだが、比熱の計算で矛盾をきたす。  $C = Q / T$  でないと困る。近畿大学や甲南大学は Qで出題している（もちろん解説付き）。

(6) 運動方程式がただの個別問題（接触した2物体を押し合う、なめらかな台の上に置かれた物体を、糸を通じて滑車を通して他の物体で引く問題、アトウッドの滑車等）を  $f = ma$  で解くだけの問題が中心である。運動方程式から運動量と力積の関係や運動エネルギーと仕事の関係が導き出せるが、それぞれが独立の考えとして扱われている。微積とまではいなくても差分を使ってでもこれらの間の関係式を扱うべきである。

(7) 物理量は単位を含むのだが

$=5.89 \times 10^{-7} \text{m}$ とし・・・ 波長 [m]を・・・ というように教科書でも問題集でも混乱している。高校教師はいつも悩んでいる。

例題等で計算の途中の過程でも各量に単位をつけて求めることによって、最後に得られる物理量の単位に関する理解が得られるよう工夫をするのがよいと思う。

(8) 高校での張力

糸が物体を引っ張る力を張力としている。張力の向きは常に物体を引っ張る向きに書く  
本来は、物体内に考えた 任意の面の両側の部分がこの面に垂直に引き合う力であり、ある仮想的な面を想定したとき、その面の単位面積あたりに働く力を応力という。法線応力の内、面の両側から押しつけ合う場合を圧力、引っ張り合う場合を張力という。

(9) 剛体中の異なる2点にはたらく力の合力と作用点(作用線)を作図で求める方法が、あたかも重要なことのように書かれている教科書が多い。2力が平行な場合の合力と作用線を求める方法まで書いてある場合もある。そこに書かれていることは間違いではない。しかし理解が困難であり、必要なことではない(東京大学 兵頭氏)

### 参考 作図による平行力の合成

物体の2点A, Bに互いに平行で同じ向きの2力 $\vec{F}_1, \vec{F}_2$ がはたらいているとする。図のように、線分AB上でA点に力 $\vec{G}$ を、B点に力 $-\vec{G}$ を加えても、物体に影響を与えない。次に、 $\vec{F}_1$ と $\vec{G}$ の合力 $\vec{H}_1$ と、 $\vec{F}_2$ と $-\vec{G}$ の合力 $\vec{H}_2$ を求める。この $\vec{H}_1$ と $\vec{H}_2$ の合力を求めると、図の点Cを作用点とする力 $\vec{H}$ が求められ、 $\vec{H}$ のはたらきは $\vec{F}_1, \vec{F}_2$ のはたらきと同じである。点Cで、 $\vec{H}_1$ と $\vec{H}_2$ を図のよう

$$\vec{G} + (-\vec{G}) = 0 \quad \dots \textcircled{1}$$

であるから、

$$\vec{H} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \quad \dots \textcircled{2}$$

すなわち、合力の大きさは $|\vec{F}_1 + \vec{F}_2| = F_1 + F_2$ で、向きはもとの力と同じである。

次に、合力 $\vec{H}$ を作用線上で移動させ、AB上の点Dに移動する。三角形の相似から、

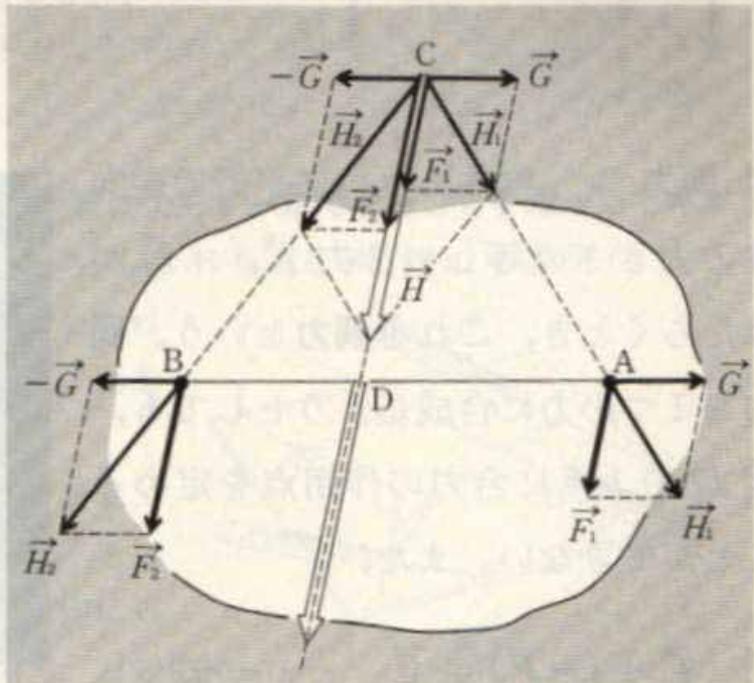
$$\frac{CD}{DA} = \frac{F_1}{G} \quad \dots \textcircled{3}$$

$$\frac{CD}{DB} = \frac{F_2}{G} \quad \dots \textcircled{4}$$

式③, ④より、

$$DB : DA = F_1 : F_2 = \frac{1}{F_2} : \frac{1}{F_1} \quad \dots \textcircled{5}$$

すなわち、合力の作用線はもとの2力の作用点間を力の大きさの逆比に内分する点を通る。



### 5. 鳥取大学教養基礎講座物理

私が5年間担当している講座であり、毎週月曜の17時から19時15まで、物理未選択者または物

理 までしか履修していない学生の補習講義を担当している。これは鳥取県の高大連携授業の一環である。できるだけ個別の簡単な実験を入れ、また全員パソコン持参で java で動く波動等のシミュレーションを見せたり、私が指導した文部省委託研究で制作した教材「ニュートンユニバース」を見せて古典力学の形成過程をアニメーションを交えて指導している。しかし、医学部の学生は同時に高度な物理の授業が平行しており、私の進度より速く、学生は困惑しており、試験前の質問が多い。彼らの教科書には例えば角速度などの記述はなく、既習事項として扱われている。

## 6. 高校物理には最新の成果が反映されていない

生物の教科書は最新の研究成果が反映されているが、高校物理はニュートン以後があまり記述されていない。相対性理論は  $E = mc^2$  のみである。実際の生活では、カーナビ衛星で一般相対性理論を適用して 100m のずれを補正しているし、加速器による治療では粒子の寿命は延びている。また、重力レンズ、ミューオンの寿命の伸びなど興味深い話題も多く、基礎物理学に進む学生を育てるには必要なことである。また、電子立国を支える半導体技術の基礎理論の量子力学が入っていない。素粒子分野でも、定性的にクォーク等が扱われているだけである。日本中のすべての高校で、物理の発展的学習ができるよう、教科書制度を見直してもらいたい。教師の力量だけでカバーし、生徒達に科学による自然の真理を解き明かす喜びや夢を与える教師でありつづけるためにも。

### 参考文献

数学 (数 /008) 大島利雄 他 数研出版

高等学校 物理 B (物 B600) 改訂版 斉藤晴男・兵藤伸一 編 啓林館