

# 落体の運動

北海道立教育研究所附属理科教育センター 伊藤新一郎

落体の運動について、学んだことを簡単な装置で確認したり、落体の運動の性質を使って人の反応時間を求めたりする実験を紹介する。また、スモールステップで発問・応答をくり返す授業展開例も示す。

**キーワード** 落体の運動、水平投射、人の反応時間

## 1. 授業の進め方

落体の運動に共通することとして、まず落体には①重力しか働いていないこと、落体は鉛直方向に②等加速度運動をすることをしっかりとおさえておくことが大事である。①については、生徒は運動している方向に力が働いていると誤解していることがあるが、既習事項として、力には「接して働く力（垂直抗力、摩擦力など）」と「離れていても働く力（重力）」があることを確認し、落下中の物体は何にも接していないことから重力のみが働いていることを示す。②については、教科書に載っている写真やストロボ動画などを見せて、落下する物体が等加速度運動をしていることを確認する。記録タイマー等を用いた実験で落体が等加速度運動をしていることを示すこともできるが、筆者はこの実験は授業の導入時ではなく、一通りの学習が終わってから探求活動などとして行う方が効果的であると考えている。

次に、落体の加速度を「重力加速度」といい、その大きさを  $g$  という記号で表すこと、その値はおよそ  $9.8\text{m/s}^2$  であることをおさえた上で、等加速度直線運動で学んだ3つの式、

$$v = v_0 + at$$

$$x = v_0t + \frac{1}{2}at^2$$

$$v^2 - v_0^2 = 2ax$$

を落下の条件に合わせて書き直していく。例えば、自由落下の場合、 $a \rightarrow g$ 、 $v_0 \rightarrow 0$ 、 $x \rightarrow y$  である。また、鉛直投射の場合、一般に、最初に物体の進んでいく向きを正の向きとするとよいことも触れておく。

水平投射と斜方投射については、定性的な扱いになるが、教科書に載っている写真やストロボ動画などを見せて、物体が水平方向には等速度運動、鉛直方向には等加速度運動をしていることを確認する。このような場合には、物体の運動を水平方向と鉛直方向に分けて考えればよいことを示した上で、水平投射については、鉛直方向

の運動が自由落下になっていること、斜方投射では、鉛直方向の運動が鉛直投げ上げになっていることを確認し、等加速度直線運動で学んだ3つの式をそれぞれの方向について、条件に合わせて書き直していく。

空気抵抗については、摩擦力や浮力などと一緒に運動方程式のところで扱うことが多いようだが、ここで扱うとすれば自由落下の中で、「もし上空 1000m の雲から雨が降ってきたとしたら、雨滴が地上に到着した時の速さは何  $\text{m/s}$  になるか。」という問題をやらせてみるのもよい。計算上は  $140\text{m/s}$  もの速さになるが、実際の速さはそれよりもはるかに小さいことから、空気抵抗の存在について触れることができる。

## 2. 演示実験の方法

この単元の学習で学んだことを簡単な装置で確認する実験と、落体の運動の性質を使って人の反応時間を求める実験について紹介する。

実験 I 水平投射の確認実験—ものさしを使って—

(1) 準備するもの

ものさし、画用紙、コイン

(2) 実験のやり方

①ものさしの両面に画用紙を切ったものを貼り付けて図1のような装置を作る。

②図1のように、画用紙の上にコインをのせ、ものさしをたわませてはじくともものさし前方のコインは水平に押し出されて水平投射となり、ものさしの後方のコ

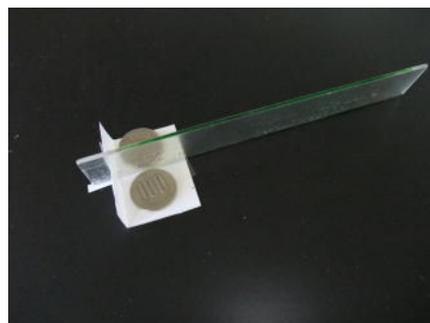


図1 ものさしで作った水平投射実験器

インは慣性でそのまま下に落下し、自由落下となる。

- ③落下したコインが2つ同時に床に落ちることから水平投射で学習した内容を確認できる。

実験Ⅱ 水平投射の確認実験－斜面を使って－

(1) 準備するもの

角材、ビー玉、工作用紙、両面テープ、斜面

(2) 実験のやり方

- ①角材を両面テープで貼り合わせて図2のような装置Aを作る。
- ②角材を工作用紙に両面テープで貼り付け、図3のような装置Bを作る。
- ③図2の装置Aを図3の装置Bにはめ込み、ビー玉をのせて図4のようにする。
- ④図4を斜面上に置き、装置Aを右に押し出すと、左側のビー玉は水平投射、右側のビー玉は自由落下を模した運動をする。
- ⑤斜面上で、二つのビー玉が衝突する様子を観察する。



図2 装置A

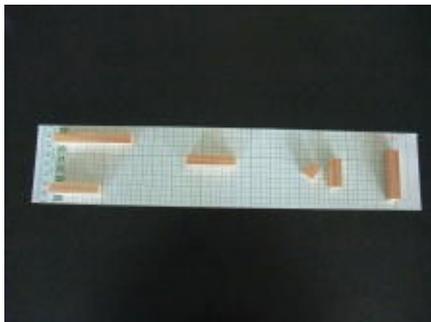


図3 装置B

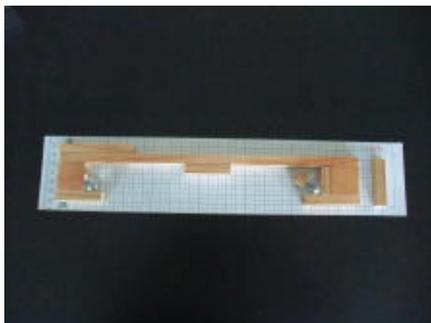


図4 装置Bに装置Aをはめ込みビー玉をのせた

実験Ⅲ 反応時間を求める実験

(1) 準備するもの

ものさし

(2) 実験のやり方

- ①一人がものさしを鉛直に立てて持ち、もう一人はものさしの下端で指を開いて待っている。
- ②ものさしを持っている方が不意にもものさしを放し、もう一人が放されたものさしをつかむ。
- ③ものさしがつかまれるまでに落下した距離からものさしの落下時間を求め、ものさしをつかんだ人の反応時間を測定する。

3. 授業展開例

物理は前に学習したことを基に、次々新しいことを学習していく積み上げ型の教科なので、前に習ったことがしっかり定着していないと、授業で説明されていることが分からなくなり、生徒は積極的に授業に参加しなくなってしまいます。

これを避けるには、前時までの学習内容を定着させておくことが大事だが、筆者は授業中にスモールステップで発問をし、生徒に当てて答えさせることをくり返すことで、前時までの学習内容を思い起こさせるようにしていた。例えば、自由落下について次のような問題を解く場合、以下のように進めていた。

<問題>水面より高さ 4.9m の所から、小石を自由落下させた。小石が水面に達するまでの時間と、水面に達する直前の小石の速さを求めよ。

T 1 「ではこの問題を解くために、等加速度直線運動で学んだ3つの式を条件に合わせて書き直してみましよう。3つの式を思い出してください。A君、そのうちの1つを教えてください。」

A君 「はい。  $v = v_0 + at$  です。」

T 2 「ではB君、他の2つの式のうち1つを教えてください。」

B君 「はい。  $x = v_0t + \frac{1}{2}at^2$  です。」

T 3 「では、C君、最後の1つを教えてください。」

C君 「はい。  $v^2 - v_0^2 = 2ax$  です。」

T 4 「この3つの式を自由落下の場合に合わせて書き直していきます。aはどうなりますか。D君。」

D君 「aはgになります。」

T 5 「そうです。では  $v_0$ はどうなりますか。E君。」

E君「 $v_0$ は0です。」

T 6「そのとおり。では、一般的に落下運動では、 $x$ はどのように表すことが多いですか。F君。」

F君「 $x$ は $y$ と表すことが多いです。」

T 7「では、この等加速度直線運動の3つの式を書き直してみましょう。1つめの式はどうなりますか。G君。」

G君「 $v = g t$ です。」

T 8「はい、そのとおりです。 $v_0$ は0ですから書かなくてもよいですね。では、2つ目の式はどうですか。H君。」

H君「 $y = \frac{1}{2} g t^2$ です。」

T 9「そのとおりです。これも $v_0$ が0ですから、 $v_0 t$ は0になるので書かなくてもよいですね。では、3つめの式はどうですか。I君。」

I君「 $v^2 = 2 g y$ です。」

T 10「そのとおり。これも $v_0$ が0ですから $v_0^2$ は0になるので、書かなくてもよいですね。では、この問題で分かっている量を書き出していきましょう。J君、分かっている量を1つ教えてください」

J君「高さが4.9mです。」

T 11「高さを表しているのは、これらの式のどの文字ですか。K君。」

K君「 $y$ です。」

T 12「その他に分かる量はないですか。L君。」

L君「分かりません。」

T 13「この問題は落下の問題ですよ。落下では、物体は重力に引かれて落ちているのでしたよね。」

L君「あっ。 $g$ は9.8です。」

T 14「そのとおり、落下の場合、物体の加速度は $9.8\text{m/s}^2$ です。では、問題の『小石が水面に達するまでの時間』を求めるには先ほど書き直した式のどれを使えばよいですか。まず、『小石が水面に達するまでの時間』はこの3つの式に出てくる文字のどれでしょうか。M君。」

M君「 $t$ です。」

T 15「そのとおり。 $t$ を求めればよいこととなりますので、使う式は $t$ を含む式でなければダメですよ。では、どの式を使いますか。N君。」

N君「 $y = \frac{1}{2} g t^2$ です。」

T 16「そのとおり、 $t$ 以外の全ての文字の値が分かっていると解けませんので、 $v = g t$ では解けません。では、式に値を入れてください。O君。」

O君「 $4.9 = \frac{1}{2} \times 9.8 \times t^2$ です。」

T 17「そうですね。ではこれを解いてください。(少し

時間をおく)では、P君、計算した答を言ってください。」

P君「 $t$ は1です。」

T 18「有効数字はそれでよいですか。」

P君「あっ。1.0です。」

T 19「そのとおり。あと物理では単位も大切です。 $t$ の単位は何ですか。」

P君「秒です。」

T 20「そのとおり。では、もう1つの問い、『水面に達する直前の小石の速さ』ですが、求めようとする文字はどれですか。Q君。」

Q君「 $v$ です。」

T 21「そのとおり。では、どの式に入れますか。R君。」

R君「 $v = g t$ です。」

T 22「はい、そうですね。 $v^2 = 2 g y$ でも解けますが、こちらを使った方が簡単そうですね。では、式に値を入れてください。S君。」

S君「 $v = 9.8 \times 1.0$ です。」

T 23「そのとおり。答はどうなりますか。単位もつけて教えてください。T君。」

T君「 $9.8\text{m/s}^2$ です。」

T 24「そのとおりです。」

この授業展開例は実際の授業の一場面を会話文で描いたものだが、クラス全体の生徒が理解しながら進められるようにスモールステップの問いを重ねている。また、基本的に発問が先、指名が後になっている。これは、指名を先にすると当てられた生徒しか考えなくなるのを防ぐためである。また、L君との会話にあるように、「分かりません。」は認めていない。「分かりません。」で次の生徒に当てていくと考えなくてもよい雰囲気が出てしまうため、ヒントを出しながらも、必ず正答を言わせるようにしている。また、1つの問題を解くために、T君まで20人に当てており、できるだけ多くの生徒に当てて考えさせることで授業に参加しているという一体感を持たせるようにしている。このようにすることで、クラスの生徒の問題を考えるペースをそろえることができ、全体の理解度を上げることができると考えている。ただし、発問回数が多いので、受け答えのテンポを速くし、授業が冗長にならないようにする必要がある。

#### 参考文献

- ・啓林館 高等学校物理 I 教科書
- ・北海道立教育研究所附属理科教育センター  
理科教育研修講座  
高等学校理科研修講座 (標準) テキスト