

第2節 加速度

(配当時間4時間)

◆学習目標

- ① 探究を通じて加速度の概念を正しく理解し、直線上の運動では、加速度の向きが符号で表されることを理解すること。
- ② 等加速度直線運動をする物体の運動を表す v - t グラフと、物体の加速度及び物体の変位との関係について理解すること。
- ③ 等加速度直線運動をする物体の位置、速度、加速度及び時刻の間に成り立つ3つの式を、目的に応じて適切に用いることができるようになること。

◆指導上の要点・留意点

- ・新しい物理量を学ぶのは加速度が最初であるから、単位の書き方や読み方も丁寧に指導する必要がある。
- ・等加速度直線運動の式は、初めて出会う本格的な式である。式の表す意味を正しく理解し、適切に活用できるよう、丁寧に指導することが望ましい。

➤ 中学校との関連

中学校理科では、運動の向きに力がはたらき続けると物体の速さが増すことや、はたらく力が大きいほど速さの増え方が大きいことを学んでいる。しかし、加速度という定量化された概念は未習である。

A 加速度

◆導入例

「レーシングカーと普通の乗用車が発進するときの様子に違いはあるだろうか。レーシングカーの方が加速がいいというが、加速がいい、悪いを数量的に表すにはどうしたら良いだろうか。」と問いかけてみる。グループで議論をさせてもよい。その結果、例えば「止まった状態から、決まった距離を走る時間を比べる。」「決まった速さになるまでの時間を比べるのはどうか。」など、いろいろな意見が出てくるだろう。それらの意見を否定せずに、最も合理的な方法が何かを考えさせて、探究1に入れればよい。

探究の流れ

探究1

電車の速度の変化の様子

A 見通し

- ◆電車が走行するときの速度計の値の変化から、速度の変化を表す物理量として、どのような量が適当かを考えさせ、加速度の概念を理解させる。

✓ 評価の場面 主体

✓ 評価の場面 思・判・表

探究1 電車の速度の変化の様子

動画・ワークシート



目的 電車が駅を出発してから次の駅で停車するまでの速度を5秒ごとに記録した表から、物体の速度の変化の様子をどのように表せばよいかを調べる。

※電車の速度の変化

時刻 [s]	速度 [km/h]	時刻 [s]	速度 [km/h]	時刻 [s]	速度 [km/h]	時刻 [s]	速度 [km/h]	時刻 [s]	速度 [km/h]
0	0	35	62	70	92	105	106	140	68
5	12	40	68	75	96	110	106	145	55
10	22	45	72	80	100	115	104	150	43
15	31	50	76	85	102	120	102	155	32
20	40	55	79	90	104	125	101	160	21
25	49	60	82	95	105	130	96	165	12
30	56	65	87	100	106	135	82	170	5
								175	0

1 駅を出発した電車が次の駅で停車するまでの速度をグラフで表す。

結果の整理 ① 電車が出発した時刻を0sとして横軸に時刻、縦軸に速度をとる。

② 表の値を(・)でグラフにはっきりと記入する。

③ グラフ上の点の並び方を見て、なめらかに線を描く。

分析と考察 グラフをもとに、電車の速度の変化の様子について分析する。その結果から、速度の変化の違いを数値化して表すにはどうすればよいかを考察する。

参考 グラフの描き方

STEP 1 実験などで得られたデータを表にまとめる。

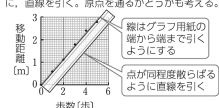
STEP 2 縦軸と横軸を引き、横軸には「変化した量」を、縦軸にはその結果「変化した量」をとる。また、軸の名称と単位を書く。

STEP 3 それぞれの最大値がグラフに入るように、各軸に目盛りを入れる。

STEP 4 測定値を点(・)ではっきりと正確に記入し、点の並び方を見て、グラフが直線か曲線かを判断する。グラフにタイトルをつける。

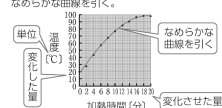
直線と判断したとき

ものさしの辺の上下に点が同程度に散らばるように、直線を描く。原点を通るかどうかもある。



曲線と判断したとき

なるべく多くの点の上やその近くを通るように、なめらかな曲線を描く。



第1章 物体の運動

B 活動

- ◆教科書に掲載されている電車の速度を、時間5秒ごとに記録した一覧表から、 v - t グラフを作成する。

✓ 評価の場面 知・技

C 整理・考察

- ◆ v - t グラフから、電車の加速状態がどのように変化したかを考察させる。
- ◆加速状態を表す定量的な量として、どのような量を考えればよいかを考察させ、複数の区間で加速度のもととなる“時間あたりの速さの変化”を求めさせる。

✓ 評価の場面 思・判・表

D 振り返り

- ◆整理、考察を振り返り、自己評価を行わせる。
- ◆付録 DVD 探究1 ワークシート・自己評価

✓ 評価の場面 主体

E 学習内容の理解

- ◆物体の速度が変化するときの運動の分析を通して、加速度の概念、および計算方法を理解させる。また、加速度が負の値となる場合もあることを説明する。

✓ 評価の場面 主体

✓ 評価の場面 知・技

探究のまとめ

- ・1sあたりの速度の変化を、速度変化の状態を表す量として用いることで、物体の運動の様子をとらえることができる。

結果の整理

図2のデータからグラフを作成すると、図11のようになった。

時刻105sまでの間、電車の速度は増加しているが、速度の変化の様子は時刻45sの前後で異なっている。前半に比べて後半の方が、時間あたりの速度の変化が小さくなっている。

また、125s以降では速度が一気に減少している。そこで、時刻
0s～40s(区間①)
50s～80s(区間②)
130s～160s(区間③)
の3つの区間における速度の変化の様子を比較しよう。

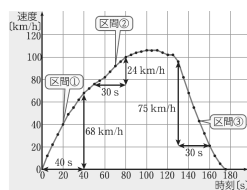


図11 電車の速度の変化

☑ グラフをチェック！

- ☐ 区間①～③で速度の変化の様子が異なっていることを確認しよう。
- ☐ その違いをどのように数値で表せばよいだろうか。

分析

各区間の速度の変化を数値で表すと、図12のようになる。

各区間での速度の変化の割合が一定であるとして、1sあたりの速度の変化を

求める。区間①と区間②では速度は増加しているが、区間②では区間①よりも速度の変化がゆるやかになっている。これは、各区間で求めた数値を比較することでより正確にわかる。

また、区間③では速度が減少しており、その変化のしかたは区間①や区間②と比べて急激であることも、数値の比較によってわかる。

考察

このように、1sあたりの速度の変化を、速度の変化の状態を表す量として用いることで、物体の運動の変化の様子をとらえることができる。

図12 各区間の速度の変化

区間	各区間の速度の変化	1sあたりの各区間の速度の変化
①	40s間で68km/h増加	1.7km/h増加
②	30s間で24km/h増加	0.8km/h増加
③	30s間で75km/h減少	2.5km/h減少

3

区間①と区間②では速度は増加しているが、区間②では区間①よりも速度の変化がゆるやかになっている。これは、各区間で求めた数値を比較することでより正確にわかる。

また、区間③では速度が減少しており、その変化のしかたは区間①や区間②と比べて急激であることも、数値の比較によってわかる。

どのようにすればよいかを考えさせる。そのうえで、区間毎の単位時間(1s間)あたりの速度変化量を求めさせ、表2と一致することを確認させる。

考察 このようにして求めた“単位時間あたりの速度変化量＝加速度”により、物体の速度の変化の様子がわかりやすく把握できることを確認させる。

【参考実験】 図p.28の表1を用いてグラフを作成するのではなく、QRコードより視聴できる動画から、生徒達自身で一定時間毎の速さを読み取って一覧表をつくり、グラフを作成してもよい。その場合、2～4名程度のグループで、動画の速度計を読み上げる係、速度計を読む時間を管理する係、記録する係などに役割分担をして実施させる。

【注意点】 『物理基礎』として初めての探究であるので、グラフ用紙の使い方も指導したい。

グラフ用紙の下端を横軸、左端を縦軸にしようとする生徒が多い。下端、左端から余裕を持たせて軸をとること。表1の値の範囲から、用紙をはみ出さないように、横軸、縦軸の目盛りを決めることなどを教えておきたい。

2 表2の単位

表2で速度の単位として[m/s]ではなく、表1の速度の単位[km/h]をそのまま使った。加速度が“単位時間あたりの速度変化”であることを理解するために、この方が生徒達には理解しやすい。

“時間1sの間に、速度が〇〇km/hだけ変化している”と考えることで、加速度の概念を身につけるようにさせたい。例えば、区間①では、平均して1sで速度が1.7km/hずつ増加するので、速度0から発進して時間40s後には、速度が

$$1.7 \text{ km/h/s} \times 40 \text{ s} = 68 \text{ km/h}$$

と計算させることで、加速度の理解の助けになる。ここで、km/h/sは(km/h)/sを意味する。

区間②、③についても、1sあたりの速度の変化から、ある時間での速度の変化を求めさせて、電車の運動について理解させるようにしたい。

なお、この単位を使うと加速度は[km/h/s]となるが、鉄道車両の性能を表す場合などは、この単位が使われることが多い。図p.30の表4にある新幹線の発進の際の加速度は、この単位で約2.6km/h/sとなる。

3 区間③の速度変化

区間③では、電車は減速するので、加速度が負の区間となるのだが、この時点ではあまり加速度が負になることに触れる必要はない。区間③では速度変化が負なので、ここでは速さが遅くなるという程度の理解でよい。加速度が負の概念は次ページ以降で考える。

1 探究1 電車の速度の変化の様子

(所要時間 50分)

【ねらい】 実際に走行している電車という、生徒にとって容易に状況が想像できる身近な運動から、速度の変化状態を考えさせ、加速度の考え方を身につけさせることが目的である。グラフを描くだけで終わらずに、加速度の考え方について生徒自身に気づかせることが大切である。また、実際に加速度を数値で計算させることで、加速度の式(図p.30式(7))の理解につなげる。

【準備】 方眼紙を生徒全員分を用意する。また、議論をさせるために、あらかじめ4名以下程度のグループに分けておくとよい。また、図p.28「探究1」のQRコードを読み取り、電車が走行している様子の動画をあらかじめ見せておくとう理解しやすい。

【方法】 図p.28の表1から方眼紙に、1人ずつグラフを描かせる。グラフ用紙の使い方、座標軸の取り方などをあらかじめ指導しておく。

【結果】 図p.29図12と同じなることを確認させる。

【分析】 グラフから、電車の運動状態について理解させる。グループごとで、話し合わせるとよい。

さらに、加速状態の異なる3つの区間(図12の区間①～③)を示し、加速状態を数値として表すのには、

参考 加速度

速度が「単位時間あたりの変化」であるのに対して、加速度は「単位時間あたりの速度の変化」であるから、その定義式も速度にならって定義できる。すなわち、時刻 t_1 の瞬間の加速度 a は、時刻 t_1 での速度を v_1 、時刻 t_2 での速度を v_2 として、

$$a = \lim_{t_2 \rightarrow t_1} \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

$$= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt}$$

である。

このような抽象的な定義は単純であるが、初学者には理解しにくい。速さが変わるならそれをどう表すとよいかを考えさせたり、車の出足のよさ、ブレーキの効き具合など、日常経験を思い出させて理解させたりするとよい。また、車に乗っているときに感じる力（慣性力）が加速度に関係していることに触れ、「加速度を体感している」ことを強調するのもよいだろう。速度と加速度の混乱は初学者にはよく見られることなので、新幹線と通勤列車との比較などから、速度の大きい運動が加速度が大きいということではないことを理解させるとよい。

加速度の単位 m/s^2 は生徒には理解しにくい単位であるから、その成り立ちを説明しておくともよい。

例 $[\text{m/s}] \div [\text{s}] = [\text{m/s}] \times [1/\text{s}] = [\text{m/s}^2]$

また km/h/s などの単位を用いて説明してもよい。

参考 等加速度運動

加速度が一定であるような運動を等加速度運動 (uniformly accelerated motion) という。放物運動のように、加速度が一定でも、必ずしも一直線上の運動になるとは限らないことに注意する。

自由落下のように、一直線上で起こる等加速度運動を等加速度直線運動 (linear motion of uniform acceleration) という。等加速度直線運動では、加速度 a が t によらず一定なので、 $a = \frac{dv}{dt}$ を t で積分すると、

$$v = \int a dt = at + v_0$$

が得られる。 v_0 は積分定数で、 $t=0$ のときの速度、すなわち初速度を表す。

また、 $v = \frac{dx}{dt}$ より、これをさらに t で積分すると、

$$x = \int v dt = \int (at + v_0) dt = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t + x_0$$

が得られる。 x_0 は積分定数で、 $t=0$ のときの位置を

表す。

参考 等加速度直線運動

等加速度直線運動での変位を求めるのに、所要時間を微小な時間ごとに区切り、それぞれの時間内では等速直線運動をしていると考える。ただし、 $x_0=0$ とする。 $t=0$ から k 番目の区間の速度は $v_0 + a(k-1)\Delta t$ なので、

$$x = \sum_{k=1}^n \{v_0 + a(k-1)\Delta t\} \Delta t \quad \left(\Delta t = \frac{t}{n}\right)$$

$$= v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \frac{n-1}{n}$$

より正確に求めようとするれば、 n を十分に大きくして、より微小な時間に区切る必要がある。このとき、変位を表す図形 (近似した v - t グラフ) は正確な v - t グラフに近づいていく。このことから、変位は v - t グラフと t 軸に囲まれた部分の面積で与えられるとわかる。

$$x = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=1}^n \{v_0 + a(k-1)\Delta t\} \Delta t$$

$$= v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

このような考え方を区分求積法といい、これを一般化した計算方法が積分である。

$$x = \int_0^t (v_0 + at) dt = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

等加速度直線運動での変位 x を求める方法として、

よく知られた方法に、平均の速度 $\frac{v_0 + v}{2}$ を用いて、

$$x = \frac{v_0 + v}{2} \times t = \frac{v_0 + v_0 + at}{2} \times t$$

$$= v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

と求める方法があるが、この「平均の速度」は「速度の時間的平均」ではなく、初速度と最後の速度の単純平均 (個数平均) にすぎないことに注意しなければならない。ただ、等加速度のときは両者が一致することである。

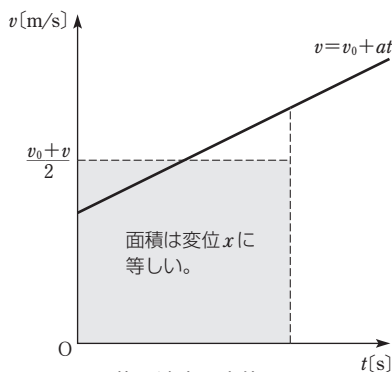


図 平均の速度と変位

参考 加速度が負の運動

加速度にも速度と同様に向きがある。直線上の運動では、向きが符号で表されるが、加速度の向きが初速度の向きとは逆向きの運動は現象的にも複雑であり、また数式の扱いも初学者にとってやさしいものではない。加速度が負とはどのような場合であるかについて例をあげて説明しておくべきである。その中で、正の向きの取り方によっては速さが増えているのに、加速度は負という場合もあることを説明しておくとい。例えば、 $v_1 = -3 \text{ m/s}$ 、 $v_2 = -5 \text{ m/s}$ などである。加速度が負の等加速度直線運動については、 $x-t$ グラフ、 $v-t$ グラフを含めて、丁寧に扱っておくことが望ましい。

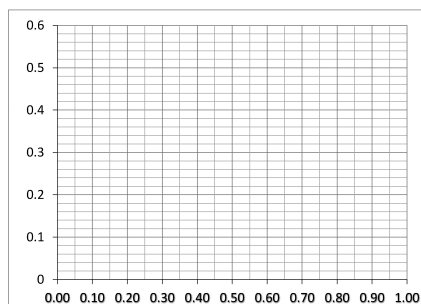
また、等加速度直線運動を表す 3 つの式が、加速度が負の場合でもそのままの形で使うことができるということは重要であり、現象・グラフ・数式の 3 つの面から総合的に理解を深めておきたい。

実習 加速度が負の運動のグラフの作成

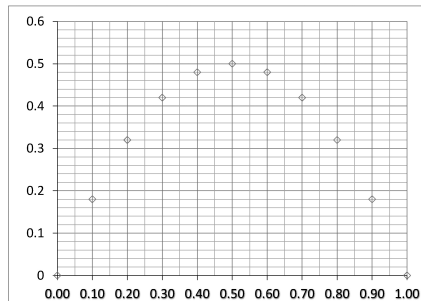
図 p.35 の図 18 のような実験を行った場合の位置の測定結果の例を示す。速度の欄を埋め、 $x-t$ グラフ、 $v-t$ グラフを描け。

時刻 $t[\text{s}]$	位置 $x[\text{cm}]$	中央時刻 $[\text{s}]$	速度 $v[\text{m/s}]$
0.00	0		
0.10	0.18	0.05	
0.20	0.32	0.15	
0.30	0.42	0.25	
0.40	0.48	0.35	
0.50	0.50	0.45	
0.60	0.48	0.55	
0.70	0.42	0.65	
0.80	0.32	0.75	
0.90	0.18	0.85	
1.00	0.00	0.95	

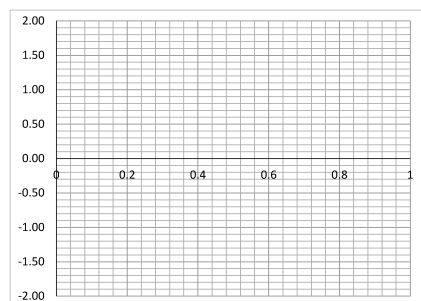
① $x-t$ グラフ



記入例



② $v-t$ グラフ



記入例

