

5 節 加速度

(配当時間 1 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。

◆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と比べる。」「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に入ればよい。

探究の流れ



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

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



5 加速度

車と短距離走の選手では、どちらのほうが最高速度が大きいだろうか。また、スタートダッシュで比較するだろうか。最高速度とスタートダッシュで結果が異なるのをどう表現すればよいか考えよう。

① 加速度 ここまででは等速直線運動など、物体の速度が一定の場合を考えた。しかし、いろいろな運動を考えると、速度が変化する場合のほうが一般的である。このような速度の変化を表す量を考えることで、運動の様子を的確に表現し、いろいろな物体の運動を比較できるようになる。

A 速度が変化する運動にはどのようなものがあるだろう。

B 例えば静止している車が動き出す運動は速度が変化しているよ。

同じくでも、スポーツカーのように実際に速度が増す場合もあるし、タクシーのように徐々に速度が増す場合もあるよね。

自動車の発進 1s 後 2s 後 3s 後 4s 後
100 m のスタート 1s 後 2s 後

▲ 図 13 いろいろなものスタートダッシュ

●「静止」=速度 0 m/s の状態。

速度が変化する運動として、A 駅で静止^①している電車が出発して加速し、やがて減速して次の B 駅で静止するまでの様子について、考えてみよう。

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 5s ごとに記した表から、物体の速度の変化の様子をどのように表せばよいか調べる。

方法 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 0 s として横軸に時刻、縦軸に速度とする。

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、なめらかに線を引く。

分析と考察 作成したグラフをもとに、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、速度の変化の度合いを数値化して表すにはどうすればよいか考察する。

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

26 | 第 1 部 物体の運動とエネルギー

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。

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 1 電車の速度の変化の様子



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

結果 ①のデータからグラフを作成すると、図のようになった。

時刻 100 s までの間、電車の速度は増加し続いているが、速度の変化の様子は時刻 45 s の前後で異なる。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、125 s 以降では速度が減少している。

そこで、時刻 0 s~40 s(区間①)、50 s~80 s(区間②)、130 s~160 s(区間③)の3つの区間ににおける速度の変化の様子を比較しよう。

分析 各区間の速度の変化を数値で表す。

各区間に速度の変化の割合が一定であるとして、1 sあたりの速度の変化を求める、図のようになれる。また、速度の単位を m/s に変換して 1 sあたりの速度の変化を求める、図のようになる。

区間①と区間②ではともに速度は増加しているが、区間②は区間①よりも速度の変化がやるやくになっている。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、その変化の大きさは区間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。

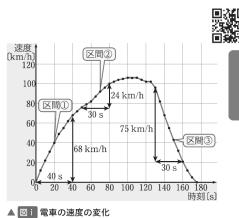
■ 単位を m/s に変換して、各区間の 1 sあたりの速度の変化を求めてみよう。

$$\text{区間①} \frac{18.9 \text{ m/s} - 0 \text{ m/s}}{40 \text{ s} - 0 \text{ s}} = \frac{18.9 \text{ m/s}}{40 \text{ s}} = 0.47 \text{ m/s}^2$$

$$\text{区間②} \frac{27.8 \text{ m/s} - 21.1 \text{ m/s}}{30 \text{ s} - 50 \text{ s}} = \frac{\frac{1}{2} \text{ m/s}}{\frac{1}{2} \text{ s}} = \frac{1}{2} \text{ m/s}^2$$

$$\text{区間③} \frac{\frac{1}{2} \text{ m/s} - \frac{1}{2} \text{ m/s}}{160 \text{ s} - 130 \text{ s}} = \frac{\frac{1}{2} \text{ m/s}}{\frac{1}{2} \text{ s}} = \frac{1}{2} \text{ m/s}^2$$

考察 このように、1 s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 電車の速度の変化

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

▼ 図12 各区間における速度の変化			
区間	時刻 (s)	速度 (km/h) (m/s)	速度の変化 (m/s) (s/m)
①	0	0	0
①	40	68	18.9
②	50	76	21.1
②	80	100	27.8
③	130	96	26.7
③	160	21	5.8

「だんだん速くなる」とか「急に速くなる」とか、言葉で表現している変化を数値で表せるのか。

単位時間あたりの位置の変化を速度とよんだ。今度は単位時間あたりの速度の変化だから「速度の変化」ってことだ。

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.24 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.22 摂密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理解しやすい。

方法 図p.22 のグラフ用紙に表1から、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.23 図12と同じに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ことで、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、どのようにすればよいかを考えさせる。その上で、区間毎の単位時間(1 s間)あたりの速度の変化量を求めさせ、それを筆記6に書き込ませて加速度を

求めさせる。

考察 このようにして求めた“単位時間あたりの速度変化=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.22 の表1を用いてグラフをつくるのではなく、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

・グラフ用紙の使い方

『物理基礎』として初めての探究があるので、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、左端を縦軸に使お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などを教えておきたい。

1. 単位時間あたりの速度の変化

図12のある時間での速度の変化から、加速度を求めるのだが、速度の単位として [m/s]ではなく、[km/h]を使った。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は、この方が生徒達には理解しやすい。“1 s で速度が ○○ km/h だけ変化する。これが加速度である。”と理解させたい。

また逆に、例えば、区間①では、平均して 1 s で速度が 1.7 km/h ずつ増加するので、速度 0 から発進して時間 40 s 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。

区間②、③についても、1 s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て、電車の運動について理解させようとしたい。

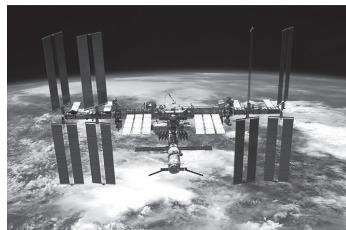
なお、この単位を使うと加速度の単位は [km/h/s]となるが、鉄道車両の性能を表す場合などは、この単位が使われることが多い。図p.24 の表3にある新幹線の発進の際の加速度は、この単位で約 2.6 km/h/s となる。

2. 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ればよい。

●話題 宇宙での相対速度

国際宇宙ステーション(ISS)は、地上から約400km上空を約7.7km/s(約 2.8×10^4 km/h)で飛行し、約90分で地球を1周している。このように非常に高速で動いているISSに宇宙船や補給機がドッキングする際には、十分に近づいたところで相対速度が0になるように、慎重に位置や速度を調節しながら徐々に近づけていく。



地球周回軌道上には不要な人工物体である「スペースデブリ(宇宙ゴミ)」が多数存在している。これらは使用済み、あるいは故障した人工衛星やロケットの部品、爆発や衝突によって発生した破片などで、10cm以上の當時地上から監視しているものだけで約2万個、1cm以上のものは数十万個ある。これらのデブリもISSや人工衛星と同じように数km/sの速さで地球を周回しているため、衝突すると相対速度は10~15km/sにもなる。運動エネルギーは速さの2乗に比例するため、小さなデブリとの衝突でも大きな影響があり、1cm以上のデブリが衝突すると、壊滅的な被害が生じるとされている。ちなみに、ライフル銃の弾丸の速さは約1km/sである。

ISSは1cmまでのデブリとの衝突に耐えられるようバンパーという構造をもっている。また、10cm以上のデブリとの衝突が予想される場合、軌道を修正して衝突を回避する操作を実施している。

◆参考 加速度

速度が「単位時間あたりの位置の変化」であるのに對して、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、

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

$$\left(= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} \right)$$

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よい。

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

また、 $km/n/s$ 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、

$$v = \int adt = at + v_0$$

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、

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

を得る。 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、

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

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

より正確に求めようとすれば、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。

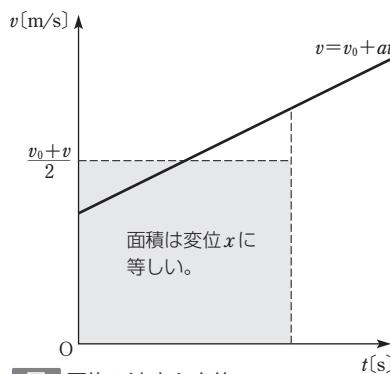


図 平均の速度と変位

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よい。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 負の加速度の運動のグラフ作成

教p.28 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 [s]	位置 x [cm]	中央時刻 [s]	速度 v [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

