第 007 講 位置–時刻グラフを読む

この講でできるようになること

- 位置–時刻グラフの横軸と縦軸の意味を説明し、時刻と位置の対応を読み取ることができる。
- グラフ上の 2 点から位置の変化と経過時間を求め、区間の平均速度を計算できる。
- グラフの傾きの正・負・ゼロを運動の向きや停止と結びつけ、直線区間の速度を比較できる。
- グラフから折返しや位置の通過を読み取り、位置と速度、移動距離と変位の違いを説明できる。
- 曲線の傾きの変わり方から、運動の様子を定性的に読み取ることができる。

1. 物体の運動をグラフで表す

1.1 時刻と位置を対応させる

一直線のレール上を走る台車を考える。レールの上に基準点を設け、そこを位置 $x = 0\,\mathrm{m}$ とする。基準点から右向きを正とし、台車の位置を x で表す。

位置が $x = 3\,\mathrm{m}$ なら、台車は基準点の右側 $3\,\mathrm{m}$ にある。位置が $x = -2\,\mathrm{m}$ なら、基準点の左側 $2\,\mathrm{m}$ にある。

台車の運動を調べるには、位置だけでなく、その位置にいた時刻も必要である。そこで、時計の読みを t とし、時刻 $t = 0\,\mathrm{s}$ から台車を観察する。

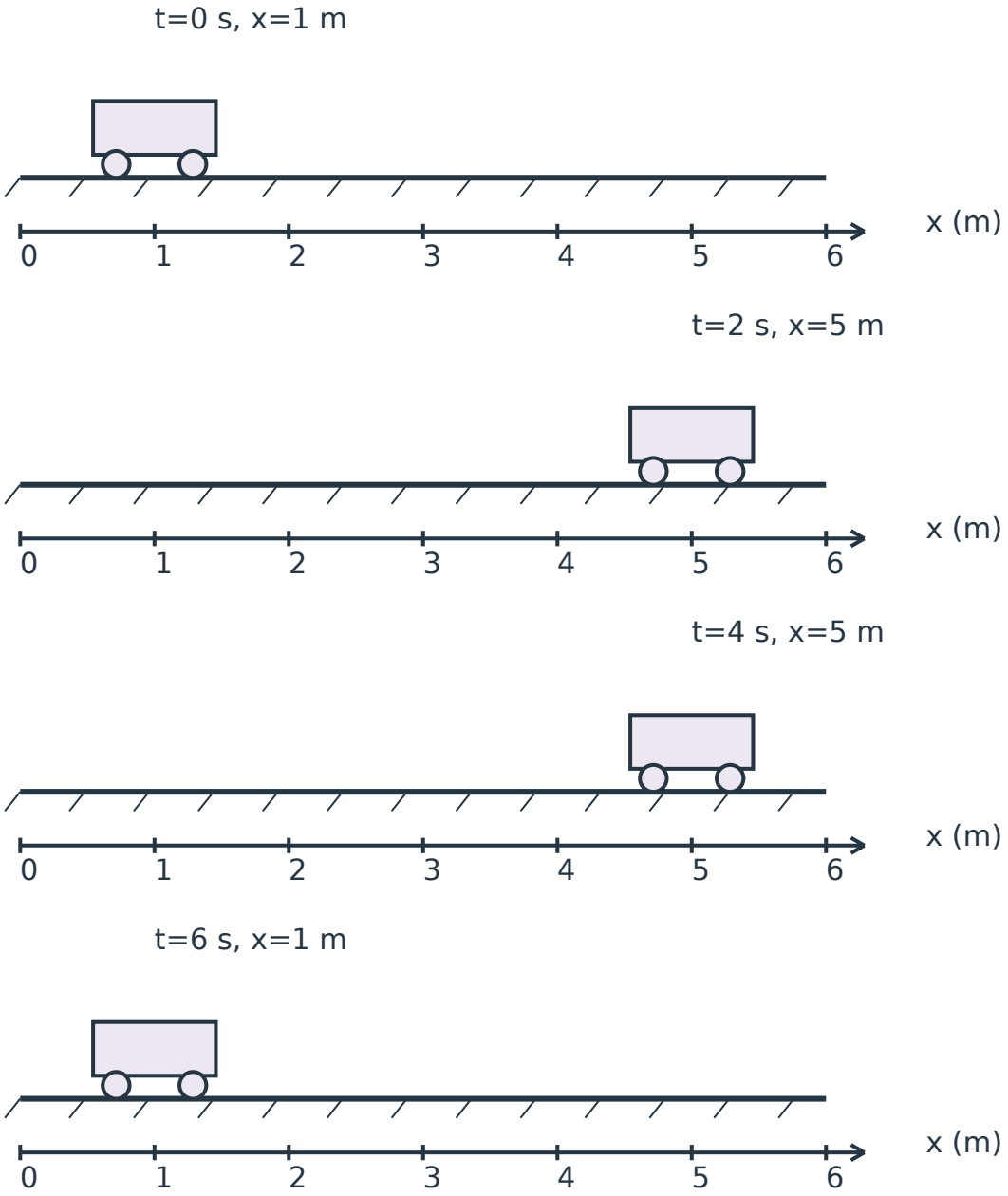
次の表は、ある台車について記録した時刻と位置の対応である。

時刻 t（s）	位置 x（m）
0	1
2	5
4	5
6	1

時刻 $0\,\mathrm{s}$ には位置 $1\,\mathrm{m}$、時刻 $2\,\mathrm{s}$ には位置 $5\,\mathrm{m}$ にある。さらに時刻 $4\,\mathrm{s}$ でも位置は $5\,\mathrm{m}$ であり、時刻 $6\,\mathrm{s}$ には位置 $1\,\mathrm{m}$ へ戻っている。

これらの位置を、同じレールについて時刻ごとに分けて描くと、次のようになる。

©ミライコーチング



各段の横方向が、実際のレール上の位置に対応しており、位置 x は台車の中央を指す。上下の段は異なる時刻を区別するための配置であり、台車が上下に移動したことを表していない。

台車中央の記録から、時刻 0 s と 6 s に位置 1 m、時刻 2 s と 4 s に位置 5 m だったことが分かる。ただし、2 s と 4 s で位置が同じというだけでは、その間ずっと静止していたとは断定できない。この時刻と位置の対応を一つの図にまとめる方法が、位置–時刻グラフである。

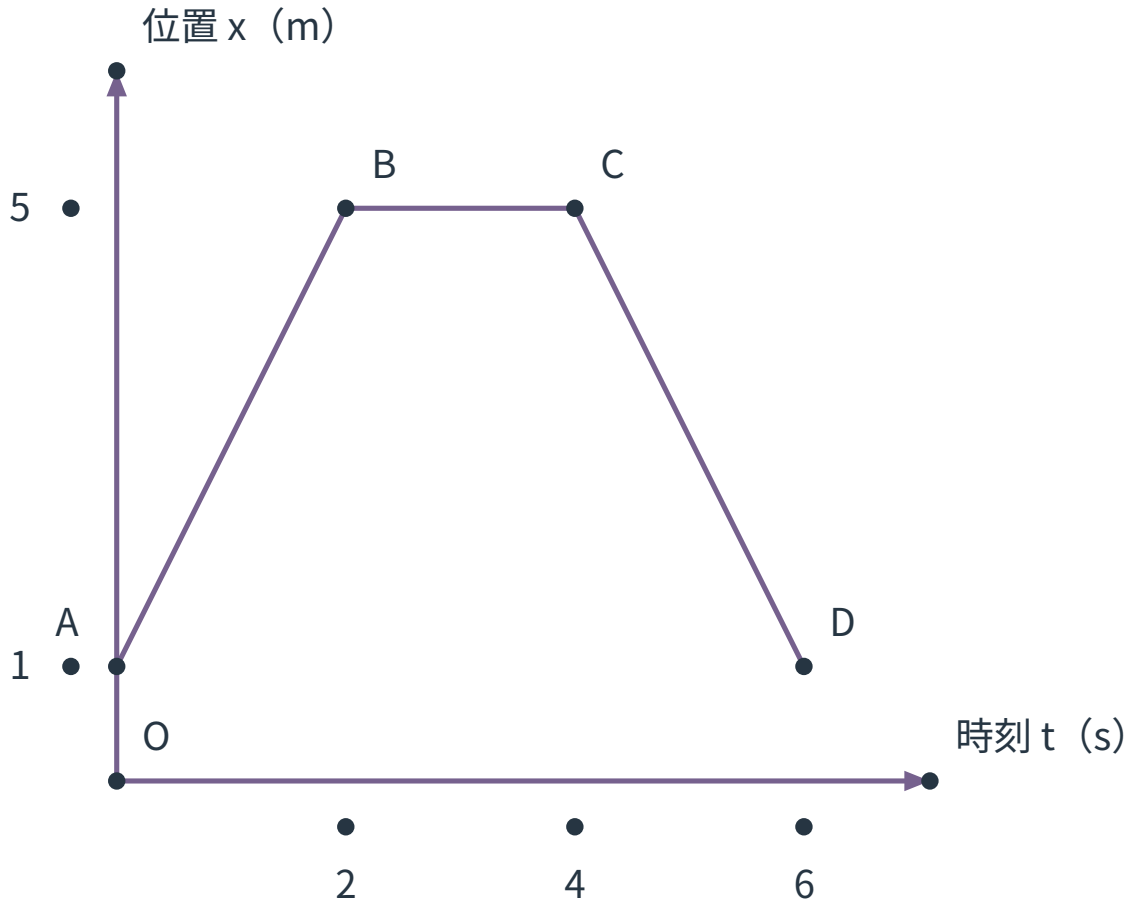
1.2 位置–時刻グラフの 2 つの軸

位置–時刻グラフ

位置–時刻グラフとは、横軸に時刻 t、縦軸に位置 x をとり、時刻と位置の対応を表したグラフである。

この講では横軸の単位を秒（s)、縦軸の単位をメートル（m）とする。

次の図では、先ほどの表の各時刻に対応する点を結んでいる。各点の間も直線に沿って位置が変わる運動を考えることにする。



この図の点 A は、時刻 $t = 0\,\mathrm{s}$、位置 $x = 1\,\mathrm{m}$ に対応する点である。点 B は時刻 2 s、位置 5 m を表す。

図からは、次の 3 つの違いが読み取れる。

- A から B では、時間とともに位置が増加している。
- B から C では、時間が経過しても位置が変化していない。
- C から D では、時間とともに位置が減少している。

このように、位置–時刻グラフは物体がどの位置にいるかだけでなく、位置が時間とともにどのように変わるかを示している。

グラフの線は実際の道筋ではない

位置–時刻グラフで横に進むことは、時間が経過することを意味する。グラフの線が右上がりでも、台車が坂道を登っているわけではない。

また、測定した時刻の位置だけが分かっている場合、それらの点の間で台車がどのように動いたかは、測定値だけからは決められない。直線で結ぶときは、その間も直線に沿って位置が変わると仮定しているかどうかを確認する必要がある。

2. グラフの傾きは速度を表す

2.1 傾きの意味を確認する

数学で学ぶ直線の傾きは、横方向の変化量に対する縦方向の変化量の割合である。

位置–時刻グラフでは、横方向の変化量が経過時間、縦方向の変化量が位置の変化である。

時刻 t_1 に位置 x_1、それより後の時刻 t_2 に位置 x_2 にあったとする。

このとき、位置の変化量 Δx と経過時間 Δt は、

$$\Delta x = x_2 - x_1$$

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

である。ただし、$t_2 > t_1$ とするため、Δt は正となる。

第 006 講で扱った区間の平均速度は、変位を経過時間で割った量であった。一次元で正方向を固定している場合、変位の符号付き成分は Δx で表せる。

したがって、位置–時刻グラフの 2 点を結ぶ直線の傾きは、その 2 点の時刻の間の平均速度と一致する。

位置–時刻グラフの傾きと平均速度

時刻 t_1 から t_2 までの平均速度を $\bar{v}$ とすると、

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

となる。

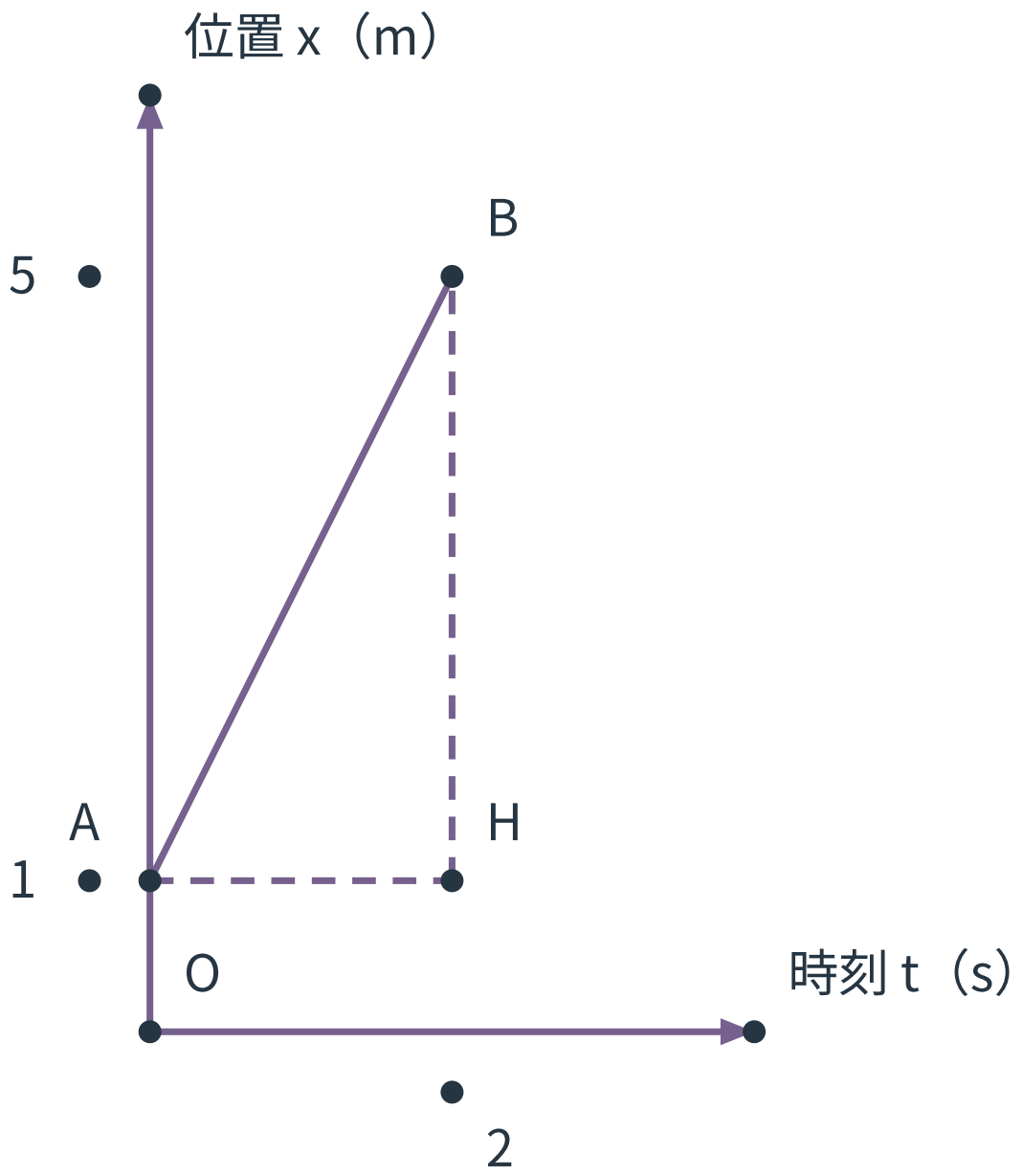
これは、位置–時刻グラフ上の 2 点を結ぶ直線の傾きである。位置の単位が m、時間の単位が s なら、傾きの単位は m/s となる。

ここで重要なのは、平均速度には必ず時間区間が指定されるということである。同じ物体であっても、どの時間区間を選ぶかによって、求まる平均速度は異なる場合がある。

2.2 横の変化と縦の変化を図で分ける

先ほどの台車が、時刻 0 s の位置 1 m から、時刻 2 s の位置 5 m へ移動した区間を考える。

次の図では、A から B へ向かう直線について、横方向と縦方向の変化を破線で分けている。



横方向の A から H に対応する経過時間は、

$$\Delta t = (2-0)\,\mathrm{s} = 2\,\mathrm{s}$$

である。一方、縦方向の H から B に対応する位置の変化は、

$$\Delta x = (5-1)\,\mathrm{m} = 4\,\mathrm{m}$$

となる。

したがって、A から B までの平均速度は、

$$\bar{v} = \frac{4\,\mathrm{m}}{2\,\mathrm{s}} = +2\,\mathrm{m/s}$$

である。

正の符号は、台車が定めた正方向へ移動したことを示している。

横方向と縦方向を分けて考えると、傾きが「進んだ時間に対して位置がどれだけ変わったか」を表すことが分かる。

平均速度はグラフの傾きから求める

位置–時刻グラフ上の 2 点を選び、縦方向の位置の変化を、横方向の経過時間で割る。

直線の傾きを計算する操作と、区間の平均速度を求める操作は、同じ量を計算している。

2.3 直線区間での速度

位置–時刻グラフがある時間区間で直線となっているとき、その区間では同じ時間が経過するごとに、位置が同じ量だけ変わる。

例えば、時刻 0 s から 2 s まで、位置が毎秒 2 m ずつ増える運動なら、どの同じ長さの時間区間を選んでも平均速度は $+2\,\mathrm{m/s}$ となる。

このように、位置が時刻に対して直線的に変化する区間では、速度は一定であり、グラフの傾きと一致する。

一方、グラフ全体が折れ線の場合は、折れ線の各直線区間について別々に傾きを求める必要がある。全区間の平均速度を、ある一つの直線区間の速度と同じものとして扱ってはならない。

3. 傾きの符号と大きさから運動を読む

3.1 右上がり・右下がり・水平の違い

位置–時刻グラフには、代表的な 3 種類の直線がある。

グラフの形	位置の変化	速度の符号	運動の意味
右上がり	時間とともに増える	正	正方向へ進む
右下がり	時間とともに減る	負	負方向へ進む
水平	時間が経過しても変わらない	ゼロ	静止している

この関係は、平均速度の式から説明できる。

経過時間 Δt は正である。そのため、Δx が正なら平均速度も正、Δx が負なら平均速度も負となる。位置が変化しない場合は $\Delta x = 0$ なので、平均速度もゼロになる。

直線区間では速度が一定であるため、この区間平均の符号と大きさを、その区間の速度として読むことができる。

3.2 傾きが急なほど速いのか

同じ単位と尺度で描かれた位置–時刻グラフを比較すると、傾きの絶対値が大きい直線ほど、速度の大きさが大きい。

例えば、ある物体 A の速度が $+3\,\mathrm{m/s}$、物体 B の速度が $-5\,\mathrm{m/s}$ であるとする。

A は正方向、B は負方向へ進む。しかし、速度の大きさは A が 3 m/s、B が 5 m/s なので、速いのは B である。

つまり、負の速度は「遅い速度」という意味ではない。速度の符号が示すのは進む向きであり、その大きさが速さに対応している。

グラフの見かけの角度だけで比べない

異なるグラフを比較するときは、軸の目盛と単位を確認する必要がある。

横軸の 1 cm が 1 s、縦軸の 1 cm が 1 m のグラフと、横軸の 1 cm が 5 s、縦軸の 1 cm が 10 m のグラフでは、紙面上で同じ角度の直線でも、表す速度が異なる。

速さを正しく比較するには、紙面上の角度ではなく、単位を含めた $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ を求める。

4. 位置と速度の符号は別々に考える

4.1 負の位置にいても正方向へ動ける

位置 x は、物体が基準点のどちら側にいるかを表す。一方、速度 v の符号は、物体がどちらの方向へ動いているかを表す。

この 2 つは異なる情報である。

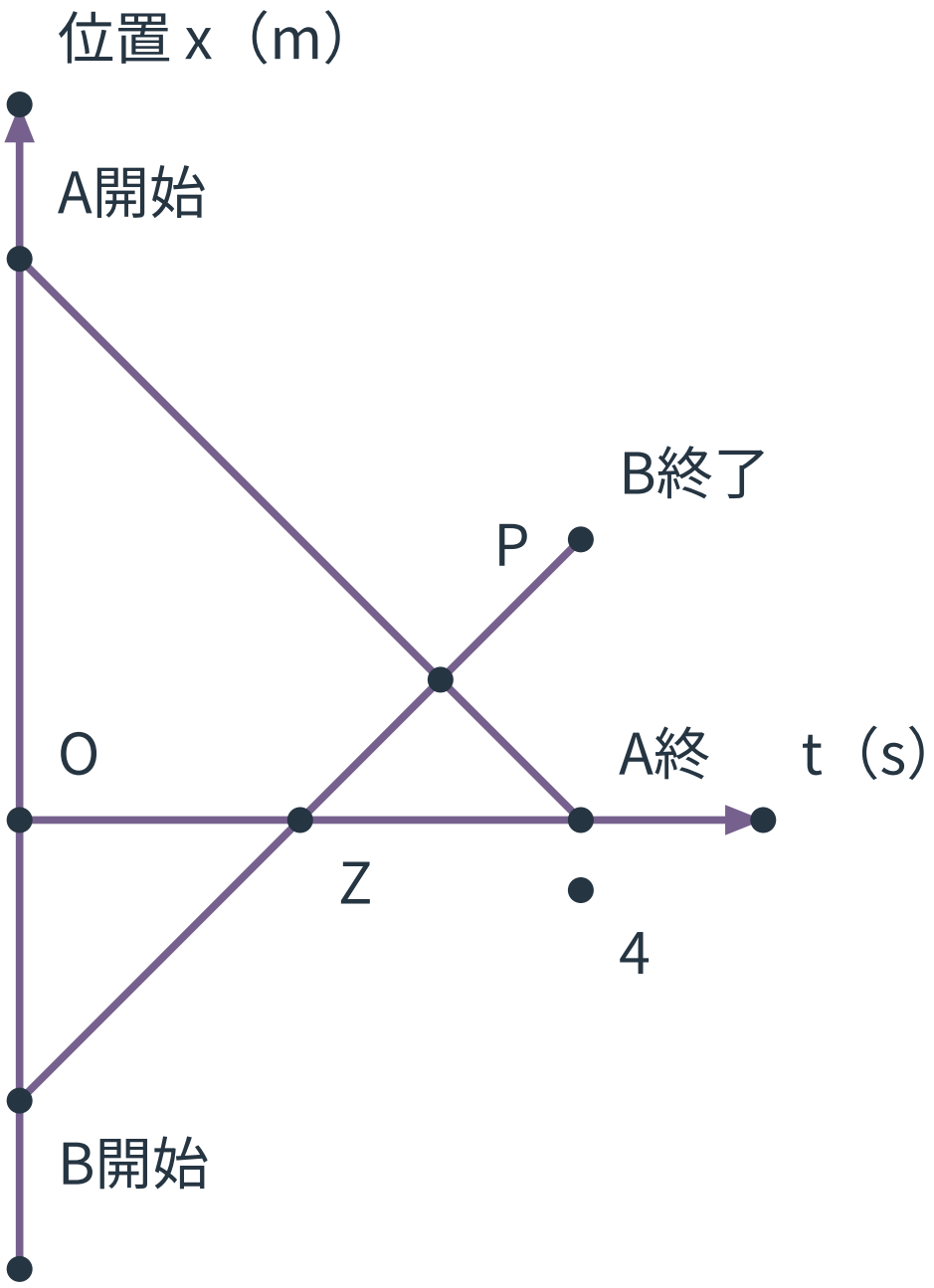
例えば、基準点の左側 3 m の位置から右へ進んでいる物体を考える。この物体の位置は負であるが、速度は正となる。

逆に、基準点の右側にいる物体が左へ進んでいる場合は、位置が正でも速度は負となる。

4.2 2 本のグラフを比較する

次の図は、同じ基準点・正方向で測定した物体 A と物体 B の位置–時刻グラフである。2 本のグラフは同じ尺度で描いている。

物体 A は時刻 0 s に位置 4 m、時刻 4 s に位置 0 m にある。物体 B は時刻 0 s に位置 −2 m、時刻 4 s に位置 2 m にある。各物体は図の直線に沿って位置が変化する。



物体 A の位置は 4 m から 0 m へ減少している。したがって、速度は負である。
その値は、

$$v_{\mathrm{A}} = \frac{(0-4)\,\mathrm{m}}{(4-0)\,\mathrm{s}} = -1\,\mathrm{m/s}$$

となる。

一方、物体 B の位置は $-2\,\mathrm{m}$ から $2\,\mathrm{m}$ へ増加しているので、速度は正である。

$$v_{\mathrm{B}} = \frac{\{2-(-2)\}\,\mathrm{m}}{(4-0)\,\mathrm{s}} = +1\,\mathrm{m/s}$$

2 つの物体は反対方向へ進んでいるが、速度の大きさは等しい。

このとき、グラフの高さだけを見て速さを判断することはできない。

4.3 グラフの交点は何を意味するか

上の図で、物体 A と物体 B のグラフは点 P で交わっている。

交点では、2 本のグラフの横座標と縦座標がともに等しい。そのため、交点は「同じ時刻に同じ位置にいる」ことを意味する。

この図では、時刻 $3\,\mathrm{s}$ に両方の物体が位置 $1\,\mathrm{m}$ にいる。

しかし、交点で速度まで等しいとは限らない。

実際、物体 A の速度は $-1\,\mathrm{m/s}$、物体 B の速度は $+1\,\mathrm{m/s}$ であり、速度は異なる。

位置の一致と速度の一致

グラフの交点は、同じ時刻に同じ位置であることを示す。

速度を比較するには、その点でのグラフの高さではなく、直線の傾きを比較する必要がある。

4.4 位置がゼロになっても折返しとは限らない

上の図では、物体 B が時刻 $2\,\mathrm{s}$ に位置 $x = 0\,\mathrm{m}$ を通過している。

しかし、グラフはその前後も右上がりである。つまり、物体 B は基準点を通過しただけで、移動方向を変えていない。

位置がゼロであることと、速度がゼロであることは別の条件である。

位置–時刻グラフから折返しを判断するときは、位置がゼロになるかどうかではなく、進む向きが前後でどう変わるかを調べる必要がある。

5. 折返しと停止をグラフから読む

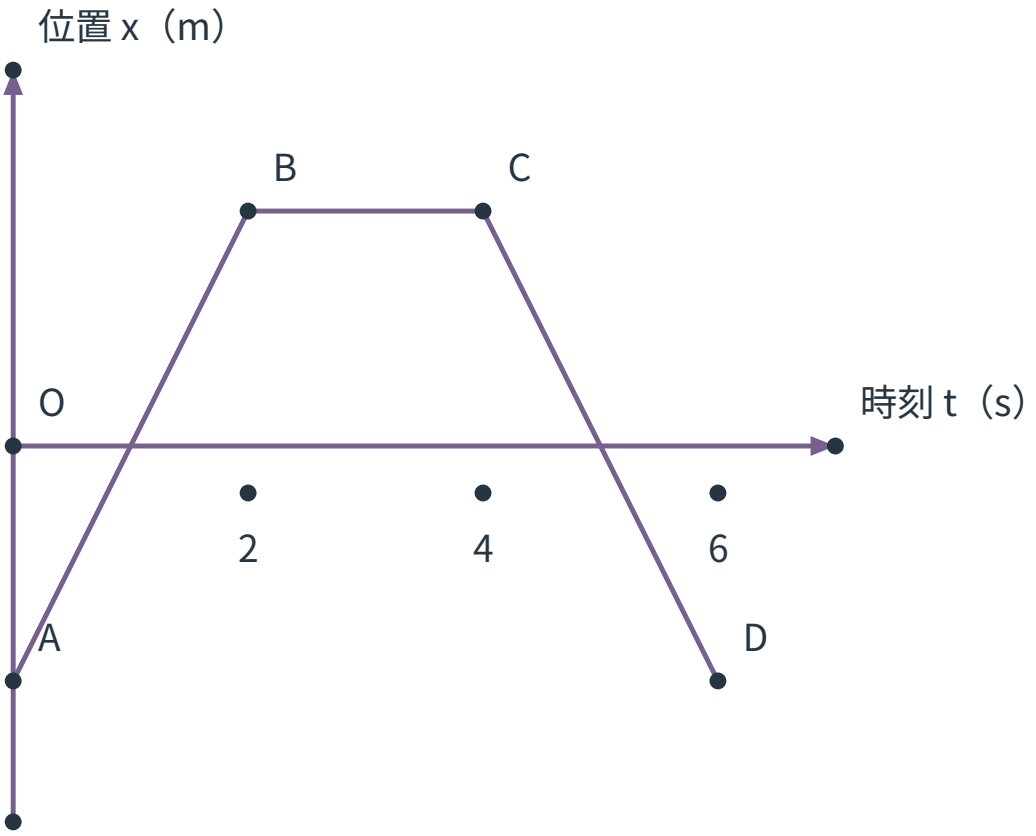
5.1 折れ線グラフの各区間を分ける

台車が右向きに進み、しばらく停止した後、左向きに戻る運動を考える。

時刻と位置を次のように設定する。

時刻 t（s）	位置 x（m）
0	-2
2	2
4	2
6	-2

各時刻の間では位置が直線的に変化するとする。



この運動は、A から B、B から C、C から D の 3 つの時間区間に分けて読むことができる。

A から B では、位置が $-2\,\mathrm{m}$ から $+2\,\mathrm{m}$ へ増加している。

$$v_{\mathrm{AB}} = \frac{\{2-(-2)\}\,\mathrm{m}}{(2-0)\,\mathrm{s}} = +2\,\mathrm{m/s}$$

したがって、台車は正方向へ進んでいる。

B から C では、位置が変化しない。

$$v_{\mathrm{BC}} = \frac{(2-2)\,\mathrm{m}}{(4-2)\,\mathrm{s}} = 0\,\mathrm{m/s}$$

この区間では台車は静止している。

C から D では位置が減少している。

$$v_{\mathrm{CD}} = \frac{(-2-2)\,\mathrm{m}}{(6-4)\,\mathrm{s}} = -2\,\mathrm{m/s}$$

台車は負方向へ動き始め、元の位置へ戻っている。

このように、グラフの傾きが正からゼロを経て負へ変化することから、正方向への移動、停止、逆方向への移動という運動の順序が分かる。

ここで折返しが起こるのは、停止区間の後、台車がそれまでと反対方向へ動き始めるところである。

ただし、折れ線の角そのものにおける瞬間速度を、前後どちらかの傾きだけから決めることはできない。この講では角の瞬間速度を求めず、各直線区間の運動を比較する。

5.2 グラフから移動距離と変位を求める

位置–時刻グラフを使えば、移動距離と変位も区別して考えられる。

先ほどの運動で、各区間の位置の変化を調べる。

区間	位置の変化 Δx	移動距離
0〜$2\,\mathrm{s}$	$+4\,\mathrm{m}$	$4\,\mathrm{m}$
2〜$4\,\mathrm{s}$	$0\,\mathrm{m}$	$0\,\mathrm{m}$
4〜$6\,\mathrm{s}$	$-4\,\mathrm{m}$	$4\,\mathrm{m}$

各直線区間では移動方向が変わらないため、区間の移動距離は位置の変化の絶対値から求められる。

したがって、全体の移動距離は、

$$4+0+4=8\,\mathrm{m}$$

である。

一方、全区間の変位は、最終位置から初期位置を引けばよい。

$$\Delta x=\{-2-(-2)\}\,\mathrm{m}=0\,\mathrm{m}$$

物体は合計 $8\,\mathrm{m}$ 移動しているが、出発した位置に戻っているため、変位はゼロである。

この違いは、全区間の平均速度と平均の速さにも現れる。

全区間の平均速度は、

$$\bar{v}=\frac{0\,\mathrm{m}}{6\,\mathrm{s}}=0\,\mathrm{m/s}$$

となる。

平均の速さは、

$$\frac{8\,\mathrm{m}}{6\,\mathrm{s}}=\frac{4}{3}\,\mathrm{m/s}$$

である。

平均速度がゼロだからといって、運動していなかったとは限らない。

移動距離を求めるときの条件

グラフ上で、位置が一方向に増加または減少する区間なら、その区間の移動距離は位置の変化の絶対値で求められる。

一方、2 つの時刻の間で折返しが起きている場合、両端の位置だけから移動距離を求めることはできない。折返しを含む運動では、移動方向が変わる区間ごとに分けて距離を求める必要がある。

©ミライコーチング

6. 曲線のグラフはどう読むか

6.1 直線と曲線の違い

これまで扱ったグラフは、直線または折れ線であった。

直線区間では傾きが一定なので、位置は同じ時間ごとに同じ量だけ変化し、速度も一定である。

しかし、現実の運動では、時間が経過するにつれて位置の変化の割合が変わる場合もある。そのような運動は、位置–時刻グラフで滑らかな曲線として表されることがある。

例えば、初めは正方向へ速く進み、次第に位置の増え方が小さくなって、やがて負方向へ戻る運動を考える。

次の曲線は、そのような運動を表すために設定した数学的なモデルである。実際の測定結果ではない。

この関数グラフの描画機能では、横座標が数学の x、縦座標が y として処理されるが、ここでは**横座標を時刻 t（s）、縦座標を物理的な位置 x（m）** として読む。描画用の横座標の文字と、物理量の位置記号 x を混同しないことが重要である。

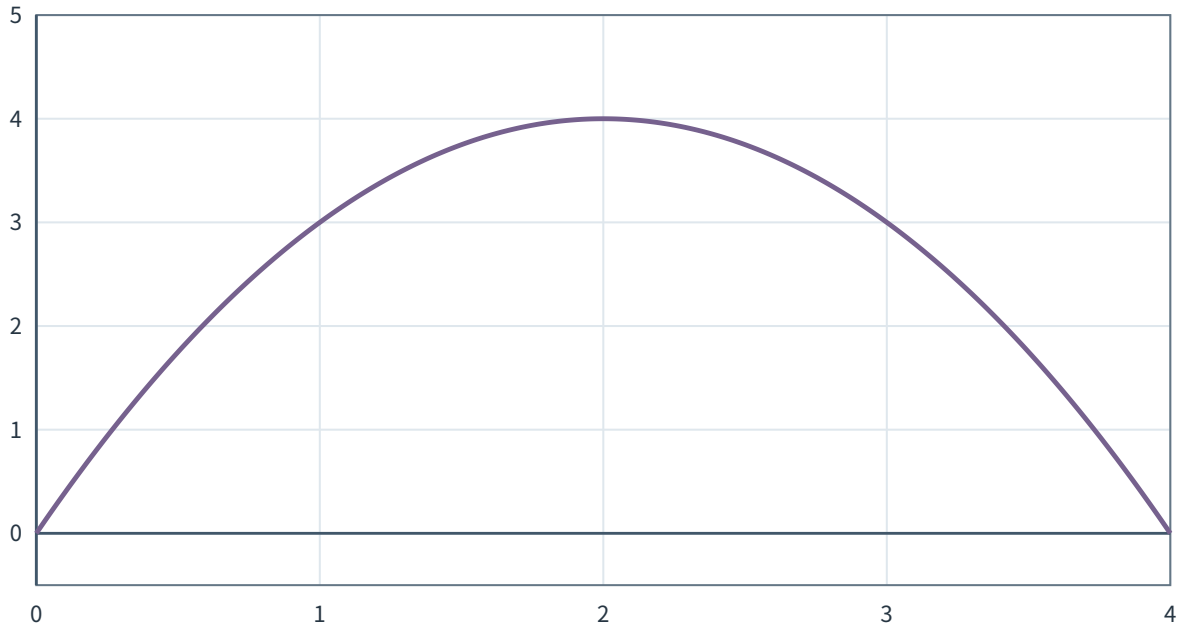


図 6　横座標は時刻 t（s）、縦座標は位置 x（m）を表す曲線

この図は、時刻 0 s で位置 0 m、時刻 2 s で位置 4 m、時刻 4 s で再び位置 0 m となる運動を表す。

初めの部分は右上がりで、後の部分は右下がりである。そのため、初めは正方向へ、後には負方向へ移動していることが分かる。

6.2 曲線の傾きの変化

直線ではどこでも傾きが同じであるが、曲線では場所によって傾きが異なる。

この図の時刻 0 s 付近は、時刻 2 s 付近に比べて、右上がりの傾きが急である。したがって、初めの方が正方向への位置の増え方が大きい。

時刻 2 s に近づくにつれ、曲線は水平に近くなっていく。この付近では、短い時間に対する位置の変化が小さくなっている。

その後、曲線は右下がりとなる。物体が負方向へ進み始めたことが分かる。

同じ時間幅で位置がどれだけ変わるかを比べると、曲線の傾きの違いをより具体的に読み取れる。

この曲線の位置の値は次の表のとおりである。

時刻 t（s）	位置 x（m）
0	0
1	3
2	4
3	3
4	0

各 1 s の区間について平均速度を求めると、

時間区間	Δx	区間の平均速度
0〜1 s	$+3\,\mathrm{m}$	$+3\,\mathrm{m/s}$
1〜2 s	$+1\,\mathrm{m}$	$+1\,\mathrm{m/s}$
2〜3 s	$-1\,\mathrm{m}$	$-1\,\mathrm{m/s}$
3〜4 s	$-3\,\mathrm{m}$	$-3\,\mathrm{m/s}$

となる。

同じ 1 s でも、位置の変化量が異なるため、区間の平均速度が変わっている。

ただし、表に示した値は各 1 s の区間に対する平均速度であり、それぞれの時刻における瞬間速度そのものではない。

6.3 ある瞬間と時間区間を区別する

滑らかな曲線のある点で、傾きが水平になることがある。

そのような点では、その瞬間の位置の変わり方がゼロになると考えられる。しかし、それは一定の長さをもつ時間区間で静止していたことを意味しない。

先ほどの曲線では、時刻 2 s 付近で傾きが水平になるが、その前後では位置が変化している。時刻 1 s から 3 s までずっと停止していたわけではない。

有限の時間区間に対する平均速度と、ある瞬間の速度は区別する必要がある。

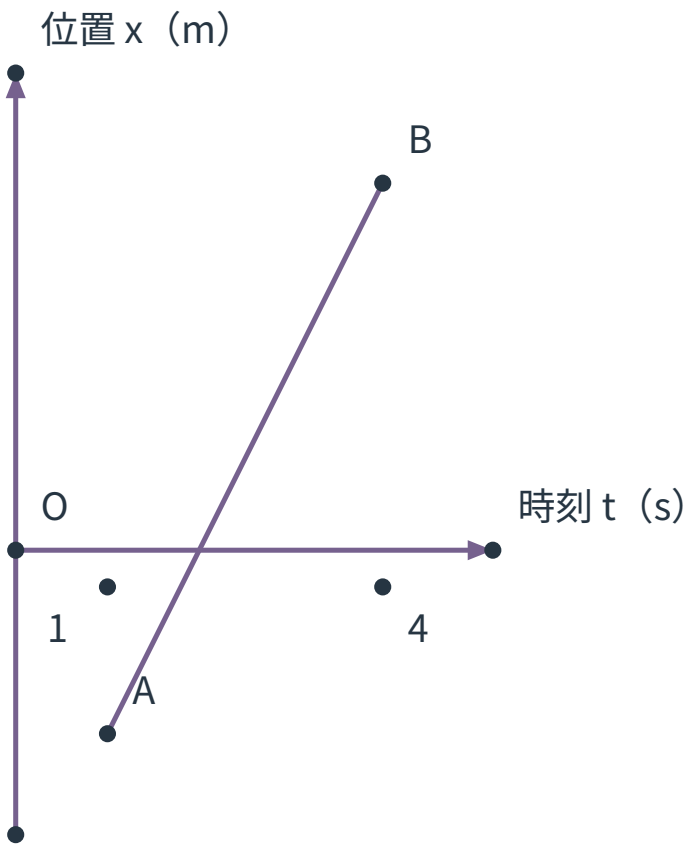
この講では、曲線の傾きが急になる・緩やかになる・向きが変わるという特徴を読み取るところまで扱う。瞬間の速度を厳密に計算する方法は、ここでは扱わない。

7. 例題

例題 1

一直線上を運動する台車の位置–時刻グラフを次に示す。基準点から右向きを正とし、横軸は時刻 t（s）、縦軸は位置 x（m）である。

台車は時刻 1 s に位置 -2 m、時刻 4 s に位置 4 m にあり、その間はグラフの直線に沿って位置が変化する。



(1) 時刻 1 s から 4 s までの平均速度を求めよ。

(2) この区間で台車は正方向と負方向のどちらへ移動しているか答えよ。

(3) 台車が基準点 $x = 0$ m を通過する時刻を求めよ。

解答・解説

(1) 平均速度は、位置の変化を経過時間で割って求める。

まず、位置の変化量は、

$$\Delta x = \{4-(-2)\}\,\mathrm{m} = 6\,\mathrm{m}$$

である。

経過時間は、

$$\Delta t = (4-1)\,\mathrm{s} = 3\,\mathrm{s}$$

である。

したがって、

$$\bar{v} = \frac{6\,\mathrm{m}}{3\,\mathrm{s}} = +2\,\mathrm{m/s}$$

となる。

答え：$+2\,\mathrm{m/s}$

(2) 位置が $-2\,\mathrm{m}$ から $+4\,\mathrm{m}$ へ増加しているので、台車は正方向へ移動している。

答え：正方向

(3) この区間の速度は一定であり、$+2\,\mathrm{m/s}$ である。

時刻 $1\,\mathrm{s}$ の位置は $-2\,\mathrm{m}$ なので、基準点に到達するには正方向へ $2\,\mathrm{m}$ 移動する必要がある。

そのために必要な時間は、

$$\frac{2\,\mathrm{m}}{2\,\mathrm{m/s}} = 1\,\mathrm{s}$$

である。

時刻 $1\,\mathrm{s}$ からさらに $1\,\mathrm{s}$ 経過したときなので、

$$t = (1+1)\,\mathrm{s} = 2\,\mathrm{s}$$

となる。

答え：$2\,\mathrm{s}$

基準点を通過することと、折返すことは異なる。この運動では直線の傾きがずっと正なので、台車は基準点を通過しても正方向へ進み続ける。

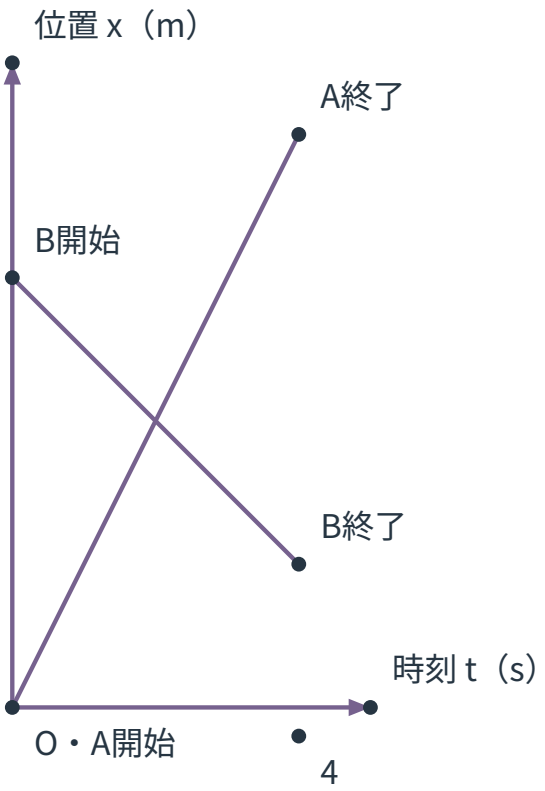
例題 2

同じ一直線上を運動する物体 A と物体 B の位置–時刻グラフを考える。基準点から右向きを正とする。

物体 A は時刻 0 s に位置 0 m、時刻 4 s に位置 8 m にある。

物体 B は時刻 0 s に位置 6 m、時刻 4 s に位置 2 m にある。

どちらの物体も、この間はそれぞれ一定の速度で運動する。



(1) 物体 A と物体 B の速度をそれぞれ求めよ。

(2) 2 つの物体は、どちらの方が速いか答えよ。

(3) 2 つの物体が同じ位置にいる時刻を求めよ。

(4) グラフの交点で、2 つの物体の速度は等しいといえるか。理由とともに説明せよ。

解答・解説

(1) 物体 A の速度は、

$$v_{\mathrm{A}} = \frac{(8-0)\,\mathrm{m}}{(4-0)\,\mathrm{s}} = +2\,\mathrm{m/s}$$

である。

物体 B の速度は、

$$v_{\mathrm{B}} = \frac{(2-6)\,\mathrm{m}}{(4-0)\,\mathrm{s}} = -1\,\mathrm{m/s}$$

となる。

答え：A は $+2\,\mathrm{m/s}$、B は $-1\,\mathrm{m/s}$

(2) 物体 A の速度の大きさは $2\,\mathrm{m/s}$、物体 B の速度の大きさは $1\,\mathrm{m/s}$ である。

したがって、速いのは物体 A である。

答え：物体 A

(3) 物体 A は時刻 $0\,\mathrm{s}$ に位置 $0\,\mathrm{m}$ から出発し、毎秒 $2\,\mathrm{m}$ ずつ位置が増加する。そのため、時刻 t における位置は、

$$x_{\mathrm{A}} = 2t$$

と表せる。ただし、t の数値は秒、x_{A} の数値はメートルを単位として表したものである。

同様に、物体 B は位置 $6\,\mathrm{m}$ から毎秒 $1\,\mathrm{m}$ ずつ位置が減少するので、

$$x_{\mathrm{B}} = 6 - t$$

となる。

2 つの位置が等しくなるとき、

$$2t = 6 - t$$

である。

これを解くと、

$$3t = 6$$

$$t = 2$$

となる。

したがって、2 つの物体が同じ位置にいる時刻は $2\,\mathrm{s}$ である。その位置は、

$$x = 2 \times 2 = 4\,\mathrm{m}$$

となる。 **答え：$2\,\mathrm{s}$（位置は $4\,\mathrm{m}$）**

(4) 速度は等しくない。

交点で等しいのは時刻と位置であり、直線の傾きではない。物体 A の速度は $+2\,\mathrm{m/s}$、物体 B の速度は $-1\,\mathrm{m/s}$ なので、移動方向も速さも異なっている。 **答え：等しくない。交点は同時刻・同位置を示すが、速度は各直線の傾きから判断するため。**

例題 3

一直線上を運動する台車の時刻と位置を次の表に示す。正方向は右向きとする。

各時刻の間では、位置が直線的に変化するとする。

時刻 t（s）	位置 x（m）
0	-2
2	2
3	2
5	-1

(1) 0〜2 s、2〜3 s、3〜5 s の速度をそれぞれ求めよ。

(2) 台車が停止している時間区間を答えよ。

(3) 全区間の移動距離と変位をそれぞれ求めよ。

(4) 0〜5 s の平均速度と平均の速さをそれぞれ求めよ。

解答・解説

(1) 0〜2 s の位置の変化は、

$$\Delta x = \{2-(-2)\}\,\mathrm{m} = 4\,\mathrm{m}$$

なので、

$$v_1 = \frac{4\,\mathrm{m}}{2\,\mathrm{s}} = +2\,\mathrm{m/s}$$

となる。

2〜3 s では位置が変わらないため、

$$v_2 = \frac{(2-2)\,\mathrm{m}}{1\,\mathrm{s}} = 0\,\mathrm{m/s}$$

である。

3〜5 s では、

$$v_3 = \frac{(-1-2)\,\mathrm{m}}{(5-3)\,\mathrm{s}} = -1.5\,\mathrm{m/s}$$

となる。

答え：$+2\,\mathrm{m/s}$、$0\,\mathrm{m/s}$、$-1.5\,\mathrm{m/s}$

(2) 位置が変化しないのは、時刻 2 s から 3 s までである。

答え：2〜3 s

(3) 最初の区間では 4 m 移動し、次の区間では移動していない。最後の区間では、位置 2 m から −1 m まで負方向へ 3 m 移動している。

したがって、移動距離は、

$$4 + 0 + 3 = 7\,\mathrm{m}$$

である。

変位は、最終位置から初期位置を引くので、

$$\Delta x = \{-1 - (-2)\}\,\mathrm{m} = +1\,\mathrm{m}$$

となる。

答え：移動距離 7 m、**変位** +1 m

(4) 全区間の経過時間は 5 s である。

平均速度は、

$$\bar{v} = \frac{+1\,\mathrm{m}}{5\,\mathrm{s}} = +0.2\,\mathrm{m/s}$$

である。

一方、平均の速さは移動距離を全時間で割るので、

$$\frac{7\,\mathrm{m}}{5\,\mathrm{s}} = 1.4\,\mathrm{m/s}$$

となる。

答え：平均速度 +0.2 m/s、**平均の速さ** 1.4 m/s

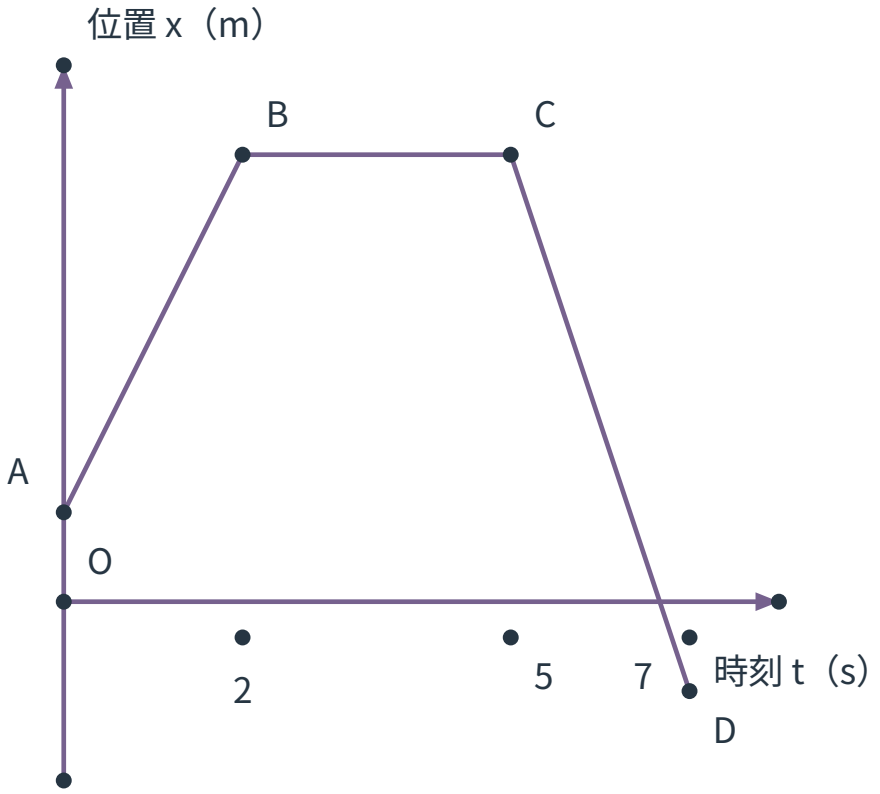
台車は途中で停止し、移動方向も変えている。このような運動では、全区間の平均速度と平均の速さを混同しないことが重要である。

8. 演習問題

演習 1

一直線上を運動する台車の位置–時刻グラフを次に示す。右向きを正方向とする。

台車は時刻 0 s に位置 1 m、時刻 2 s に位置 5 m、時刻 5 s に位置 5 m、時刻 7 s に位置 −1 m にある。各点の間では図の直線に沿って位置が変化する。



(1) A から B、B から C、C から D の各区間の速度を求めよ。

(2) 台車が停止している時間区間を答えよ。

(3) 全区間の移動距離と変位をそれぞれ求めよ。

(4) 0〜7 s の平均速度と平均の速さをそれぞれ求めよ。

演習 2

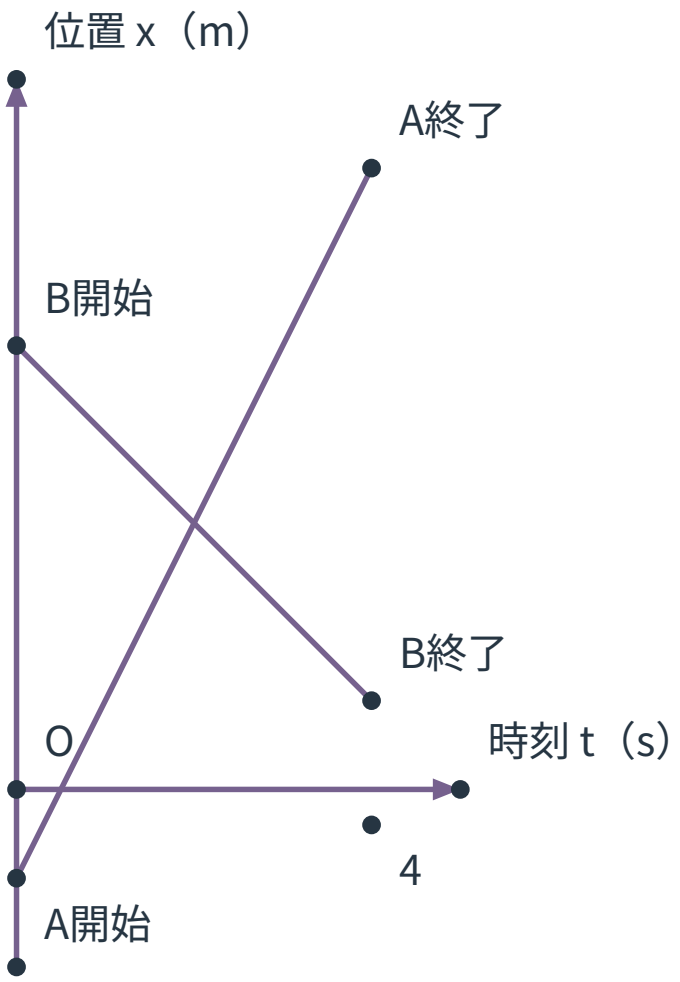
同じ一直線上を運動する物体 A と物体 B について、次の位置–時刻グラフが得られた。基準点から右向きを正とする。

物体 A は時刻 0 s に位置 −1 m、時刻 4 s に位置 7 m にある。

物体 B は時刻 0 s に位置 5 m、時刻 4 s に位置 1 m にある。

どちらの物体も、それぞれ一定の速度で運動している。

©ミライコーチング



(1) 物体 A と物体 B の速度をそれぞれ求めよ。

(2) どちらの物体の方が速いか答えよ。

(3) 2 つの物体が同じ位置にいる時刻と、その位置を求めよ。

(4) その時刻に 2 つの物体の速度も等しいといえるか。理由とともに答えよ。

(5) 時刻 0 s における物体 A の位置は負である。このことから、物体 A の速度も負だといえるか。理由を説明せよ。

演習 3

一直線上を運動する台車について、次の表に示す時刻と位置が記録された。正方向は右向きとする。

各時刻の間では位置が直線的に変化する。

時刻 t（s）	位置 x（m）
0	-4
2	-4
5	2

(1) 0〜2 s と 2〜5 s の速度をそれぞれ求めよ。

(2) 台車が停止している時間区間を答えよ。

(3) 時刻 3 s における台車の位置を求めよ。

(4) 時刻 3 s における位置と速度の符号をそれぞれ答え、その符号が異なっても矛盾しない理由を説明せよ。

(5) 0〜5 s の平均速度を求めよ。

演習 4

2 つの位置–時刻グラフ Ⅰ、Ⅱ を別々の紙に描いたところ、どちらの直線も紙面上では右へ 2 cm 進む間に上へ 2 cm 上がり、見かけの角度が同じになった。

ただし、軸の尺度は次のように異なる。

グラフ	横軸の 1 cm	縦軸の 1 cm
Ⅰ	1 s	1 m
Ⅱ	2 s	3 m

(1) グラフ Ⅰ と Ⅱ がそれぞれ表す直線区間の速度を求めよ。

(2) どちらの方が速度の大きさが大きいか答えよ。

(3) 紙面上の傾きの角度が同じでも、速度が異なる理由を説明せよ。

演習 5

ある物体の位置–時刻グラフが、次のような滑らかな曲線となった。横座標を時刻 t（s）、縦座標を位置 x（m）として読むものとする。

この図は、運動を表す数学的なモデルであり、描画機能の横座標の文字 x は物理的な時刻 t、縦座標の文字 y は物理的な位置 x に対応する。



図 11　横座標は時刻 t（s）、縦座標は位置 x（m）を表す曲線

曲線上の位置の値は次の表のとおりである。

時刻 t（s）	**位置 x（m）**
0	0
1	5
2	8
3	9
4	8
5	5
6	0

(1) 0〜1 s と 2〜3 s の平均速度をそれぞれ求めよ。

(2) 3〜4 s と 5〜6 s の平均速度をそれぞれ求めよ。

(3) 0〜1 s と 2〜3 s では、どちらの区間の方が位置の増え方が大きいか。グラフの傾きと結びつけて説明せよ。

(4) 時刻 3 s で曲線の傾きが 0 になることから、時刻 2 s から 4 s まで物体はずっと静止していたと判断できるか。理由を答えよ。

演習 6

一直線上を運動する台車について、次の表が与えられた。右向きを正とし、表の時刻の間は一定の速度で運動する。途中で停止したり、移動方向を変えたりしない。

時刻 t（s）	位置 x（m）
0	-3
2	1
4	5

(1) 0〜4 s の速度を求めよ。

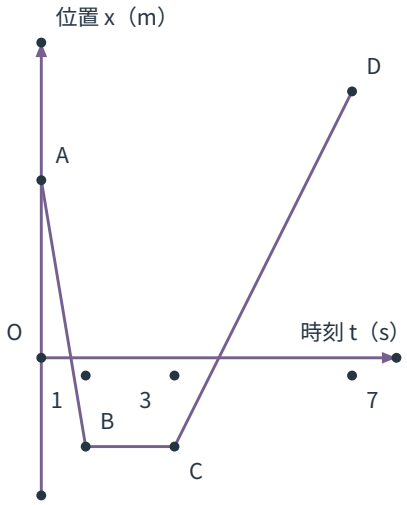
(2) 台車が位置 $x = 0\,\mathrm{m}$ を通過する時刻を求めよ。

(3) (2)の時刻で、台車は折り返したといえるか。位置と速度の違いを踏まえて説明せよ。

演習 7

ある台車の位置–時刻グラフを次に示す。右向きを正とし、各直線区間では一定の速度で運動する。

時刻 0 s の位置は 4 m、時刻 1 s の位置は −2 m、時刻 3 s の位置は −2 m、時刻 7 s の位置は 6 m である。



(1) A から B、B から C、C から D の速度をそれぞれ求めよ。

(2) 台車が停止していた時間と、その長さを答えよ。

(3) 台車が負方向へ最も速く進んでいた区間を答えよ。

(4) 0〜7 s の移動距離と変位をそれぞれ求めよ。

(5) 0〜7 s の平均速度と平均の速さを求めよ。

(6) 台車は位置 $x = 0\,\mathrm{m}$ を 2 回通過する。このことだけから、位置 $x = 0\,\mathrm{m}$ で折り返したといえるか。グラフの傾きを使って説明せよ。

©ミライコーチング

演習問題の解答・解説

解答 1

(1) 各区間の速度

A から B では、位置が 1 m から 5 m へ増えている。経過時間は 2 s なので、

$$v_{\mathrm{AB}} = \frac{(5-1)\,\mathrm{m}}{(2-0)\,\mathrm{s}} = +2\,\mathrm{m/s}$$

である。

B から C では位置が 5 m のまま変わらないため、

$$v_{\mathrm{BC}} = \frac{(5-5)\,\mathrm{m}}{(5-2)\,\mathrm{s}} = 0\,\mathrm{m/s}$$

となる。

C から D では位置が 5 m から -1 m に減少しているため、

$$v_{\mathrm{CD}} = \frac{(-1-5)\,\mathrm{m}}{(7-5)\,\mathrm{s}} = -3\,\mathrm{m/s}$$

である。

答え：$+2\,\mathrm{m/s}$、$0\,\mathrm{m/s}$、$-3\,\mathrm{m/s}$

(2) 停止区間

グラフが水平となっている B から C の区間は、位置が変化していない。

答え：2〜5 s

(3) 移動距離と変位

各直線区間の移動距離は、それぞれ 4 m、0 m、6 m である。

したがって、全移動距離は、

$$4 + 0 + 6 = 10\,\mathrm{m}$$

となる。

変位は最終位置から初期位置を引いて、

$$\Delta x = (-1-1)\,\mathrm{m} = -2\,\mathrm{m}$$

である。

答え：移動距離 10 m、**変位** -2 m

(4) 平均速度と平均の速さ

全区間の経過時間は 7 s である。

平均速度は、

$$\bar{v} = \frac{-2\,\mathrm{m}}{7\,\mathrm{s}} = -\frac{2}{7}\,\mathrm{m/s}$$

となる。

平均の速さは、

$$\frac{10\,\mathrm{m}}{7\,\mathrm{s}} = \frac{10}{7}\,\mathrm{m/s}$$

である。

答え：平均速度 $-\frac{2}{7}\,\mathrm{m/s}$、平均の速さ $\frac{10}{7}\,\mathrm{m/s}$

全体としては初期位置より負方向へ 2 m 移動したことになるが、途中で正方向へ進んだ分もあるため、移動距離は変位の大きさより大きくなる。

解答 2

(1) 各物体の速度

物体 A は位置 $-1\,\mathrm{m}$ から $7\,\mathrm{m}$ へ移動している。

$$v_{\mathrm{A}} = \frac{\{7-(-1)\}\,\mathrm{m}}{4\,\mathrm{s}} = +2\,\mathrm{m/s}$$

物体 B は位置 5 m から 1 m へ移動している。

$$v_{\mathrm{B}} = \frac{(1-5)\,\mathrm{m}}{4\,\mathrm{s}} = -1\,\mathrm{m/s}$$

答え：A は $+2\,\mathrm{m/s}$、B は $-1\,\mathrm{m/s}$

(2) 速さの比較

物体 A の速さは 2 m/s、物体 B の速さは 1 m/s である。

答え：物体 A

速度の符号ではなく、速度の大きさを比較する。

(3) 同じ位置になる時刻と位置

物体 A の時刻 t における位置は、

$$x_{\mathrm{A}} = -1 + 2t$$

と表せる。

物体 B の位置は、

$$x_{\mathrm{B}} = 5 - t$$

である。ここでは t と x の数値をそれぞれ秒とメートルで表している。

同じ位置になるとき、

$$-1 + 2t = 5 - t$$

となる。

$$3t = 6$$

より、

$$t = 2$$

である。

その位置は、

$$x = -1 + 2 \times 2 = 3\,\mathrm{m}$$

となる。

答え：時刻 $2\,\mathrm{s}$、位置 $3\,\mathrm{m}$

(4) 交点と速度

速度は等しくない。

交点では時刻と位置が同じになるが、物体 A の傾きは正、物体 B の傾きは負である。実際の速度も $+2\,\mathrm{m/s}$ と $-1\,\mathrm{m/s}$ で異なる。

答え：等しくない。グラフの交点は同時刻・同位置を示すだけで、傾きの一致を意味しないため。

(5) 位置と速度の符号

位置が負であっても、速度が負とは限らない。

位置の負の符号は、物体 A が基準点の負側にいることを示す。速度の符号は進行方向を示しており、物体 A のグラフは右上がりなので速度は正である。

答え：いえない。位置の符号と速度の符号は異なる情報を示すため。

解答 3

(1) 各区間の速度

0〜2 s では位置が変わらないため、

$$v_1 = \frac{\{-4-(-4)\}\,\mathrm{m}}{2\,\mathrm{s}} = 0\,\mathrm{m/s}$$

となる。

2〜5 s では位置が $-4\,\mathrm{m}$ から $2\,\mathrm{m}$ へ増加する。

$$v_2 = \frac{\{2-(-4)\}\,\mathrm{m}}{(5-2)\,\mathrm{s}} = +2\,\mathrm{m/s}$$

である。

答え：$0\,\mathrm{m/s}$、$+2\,\mathrm{m/s}$

(2) 停止区間

位置が一定なのは時刻 0 s から 2 s までである。

答え：0〜2 s

(3) 時刻 3 s の位置

時刻 2 s の位置は $-4\,\mathrm{m}$ である。

その後は正方向へ毎秒 $2\,\mathrm{m}$ ずつ位置が増加するので、1 s 後の時刻 3 s には、

$$x = -4 + 2 \times 1 = -2\,\mathrm{m}$$

となる。

答え：$-2\,\mathrm{m}$

(4) 位置と速度の符号

時刻 3 s の位置は $-2\,\mathrm{m}$ なので負である。

一方、この時刻を含む 2〜5 s の直線区間では、速度が $+2\,\mathrm{m/s}$ なので正である。

位置が負ということは基準点の左側にいることを示し、速度が正ということは右方向へ進んでいることを示す。

答え：位置は負、速度は正。基準点の負側にいながら正方向へ進むことは可能である。

(5) 全区間の平均速度

最終位置は 2 m、初期位置は $-4\,\mathrm{m}$ である。

$$\Delta x = \{2-(-4)\}\,\mathrm{m} = 6\,\mathrm{m}$$

全経過時間は 5 s なので、

$$\bar{v} = \frac{6\,\mathrm{m}}{5\,\mathrm{s}} = +1.2\,\mathrm{m/s}$$

となる。

答え：$+1.2\,\mathrm{m/s}$

停止していた時間も全経過時間に含めるため、動いていた区間の速度 $+2\,\mathrm{m/s}$ とは異なる値になる。

解答 4

(1) 各グラフの速度

グラフ Ⅰ では、紙面上で右へ 2 cm 進むことが 2 s の経過を表し、上へ 2 cm 上がることが位置の $+2\,\mathrm{m}$ の変化を表す。

したがって、

$$v_{\mathrm{I}} = \frac{+2\,\mathrm{m}}{2\,\mathrm{s}} = +1\,\mathrm{m/s}$$

となる。

グラフ Ⅱ では、横軸の 1 cm が 2 s、縦軸の 1 cm が 3 m に対応する。

よって、右へ 2 cm 進む間の経過時間は 4 s、位置の増加量は 6 m である。

$$v_{\mathrm{II}} = \frac{+6\,\mathrm{m}}{4\,\mathrm{s}} = +1.5\,\mathrm{m/s}$$

となる。

答え：Ⅰ は $+1\,\mathrm{m/s}$**、Ⅱ は** $+1.5\,\mathrm{m/s}$

(2) 速さの比較

それぞれの速度の大きさを比べると、グラフ Ⅱ の方が大きい。

答え：グラフ Ⅱ

(3) 見かけの角度と速度の違い

紙面上で同じ長さだけ上がっていても、縦軸の尺度が違えば位置の変化量は異なる。また、紙面上で同じ長さだけ右へ進んでいても、横軸の尺度が違えば経過時間は異なる。

速度は位置の変化量を経過時間で割ったものであるため、紙面上の角度だけでは比較できない。

答え：軸の単位と尺度が異なると、紙面上で同じ傾きでも $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ **が異なるため。**

解答 5

(1) 0〜$1\,\mathrm{s}$ **と** 2〜$3\,\mathrm{s}$ **の平均速度**

0〜1 s では、位置が 0 m から 5 m に増加している。

$$\bar{v}_1 = \frac{(5-0)\,\mathrm{m}}{1\,\mathrm{s}} = +5\,\mathrm{m/s}$$

となる。

2〜3 s では、位置が 8 m から 9 m に増加している。

$$\bar{v}_2 = \frac{(9-8)\,\mathrm{m}}{1\,\mathrm{s}} = +1\,\mathrm{m/s}$$

となる。

答え：$+5\,\mathrm{m/s}$、$+1\,\mathrm{m/s}$

(2) 3〜4 s と 5〜6 s の平均速度

3〜4 s では、位置が 9 m から 8 m へ減少する。

$$\bar{v}_3 = \frac{(8-9)\,\mathrm{m}}{1\,\mathrm{s}} = -1\,\mathrm{m/s}$$

となる。

5〜6 s では、位置が 5 m から 0 m へ減少する。

$$\bar{v}_4 = \frac{(0-5)\,\mathrm{m}}{1\,\mathrm{s}} = -5\,\mathrm{m/s}$$

となる。

答え：$-1\,\mathrm{m/s}$、$-5\,\mathrm{m/s}$

(3) 位置の増え方の比較

0〜1 s の方が位置の増え方が大きい。

同じ 1 s の間に、最初の区間では 5 m、後の区間では 1 m だけ増加している。

したがって、2 点を結ぶ直線の傾きの大きさも、0〜1 s の方が大きい。

答え：0〜1 s。**同じ時間幅に対する位置の増加量が大きく、区間平均速度が大きいため。**

(4) 曲線が水平になることと静止

時刻 3 s で曲線の傾きが 0 となっても、その前後の時間区間で位置が変化しているため、2〜4 s の間ずっと静止していたとはいえない。

例えば、時刻 2 s の位置は 8 m、時刻 3 s の位置は 9 m であり、位置が変化している。

答え：判断できない。ある瞬間の傾きが水平であることと、一定の時間区間にわたって位置が変わらないことは異なるため。

解答 6

(1) 0〜4 s の速度

初期位置は $-3\,\mathrm{m}$、最終位置は $5\,\mathrm{m}$ である。

$$\Delta x = \{5-(-3)\}\,\mathrm{m} = 8\,\mathrm{m}$$

経過時間は 4 s なので、

$$v = \frac{8\,\mathrm{m}}{4\,\mathrm{s}} = +2\,\mathrm{m/s}$$

となる。

答え：$+2\,\mathrm{m/s}$

(2) 位置 $x = 0\,\mathrm{m}$ の通過時刻

時刻 $0\,\mathrm{s}$ に台車は位置 $-3\,\mathrm{m}$ にいる。

そこから正方向へ $3\,\mathrm{m}$ 進むと、基準点に到達する。

速度は $+2\,\mathrm{m/s}$ なので、必要な時間は、

$$\Delta t = \frac{3\,\mathrm{m}}{2\,\mathrm{m/s}} = 1.5\,\mathrm{s}$$

である。

答え：$1.5\,\mathrm{s}$

(3) 基準点通過と折返し

折返しは起きていない。

台車は負の位置から出発し、基準点を通過して正の位置へ進んでいるが、その間の速度は一貫して正である。

基準点の通過は位置がゼロになったことを意味するだけで、移動方向の変化を意味しない。

答え：折り返していない。位置がゼロになっても、速度の符号は変化していないため。

解答 7

(1) 各区間の速度

A から B の区間では、位置が $4\,\mathrm{m}$ から $-2\,\mathrm{m}$ へ減少する。

$$v_{\mathrm{AB}} = \frac{(-2-4)\,\mathrm{m}}{(1-0)\,\mathrm{s}} = -6\,\mathrm{m/s}$$

となる。

B から C では位置が一定であるため、

$$v_{\mathrm{BC}} = \frac{\{-2-(-2)\}\,\mathrm{m}}{(3-1)\,\mathrm{s}} = 0\,\mathrm{m/s}$$

となる。

C から D では、位置が $-2\,\mathrm{m}$ から $6\,\mathrm{m}$ に増加する。

$$v_{\mathrm{CD}} = \frac{\{6-(-2)\}\,\mathrm{m}}{(7-3)\,\mathrm{s}} = +2\,\mathrm{m/s}$$

となる。

答え：$-6\,\mathrm{m/s}$、$0\,\mathrm{m/s}$、$+2\,\mathrm{m/s}$

(2) 停止時間

B から C の間はグラフが水平であり、位置が一定である。

時刻 1 s から 3 s まで停止しているので、停止時間は、

$$(3-1)\,\mathrm{s} = 2\,\mathrm{s}$$

である。

答え：1〜3 s、停止時間は 2 s

(3) 負方向へ最も速く進んだ区間

負方向へ動いているのは、速度が負の A から B の区間である。

速度は $-6\,\mathrm{m/s}$ なので、負方向への速さは $6\,\mathrm{m/s}$ となる。

答え：A から B（0〜1 s）

(4) 移動距離と変位

各区間の移動距離は、

- A から B：6 m
- B から C：0 m
- C から D：8 m

である。

したがって、全移動距離は、

$$6 + 0 + 8 = 14\,\mathrm{m}$$

となる。

全区間の変位は、

$$\Delta x = (6-4)\,\mathrm{m} = +2\,\mathrm{m}$$

である。

答え：移動距離 14 m、変位 +2 m

(5) 平均速度と平均の速さ

全経過時間は 7 s である。

平均速度は、

$$\bar{v} = \frac{+2\,\mathrm{m}}{7\,\mathrm{s}} = +\frac{2}{7}\,\mathrm{m/s}$$

となる。

平均の速さは、

$$\frac{14\,\mathrm{m}}{7\,\mathrm{s}} = 2\,\mathrm{m/s}$$

である。

答え：平均速度 $+\frac{2}{7}$ m/s、平均の速さ 2 m/s

(6) 位置ゼロの通過と折返し

位置 $x = 0\,\mathrm{m}$ を 2 回通過したことだけでは、その位置で折り返したとはいえない。

最初の通過は A から B の右下がりの直線区間にあり、台車は負方向へ進み続けている。

2 回目の通過は C から D の右上がりの直線区間にあり、台車は正方向へ進み続けている。

移動方向が変化するのは、B から C の停止区間を経て、C から D で正方向への運動を開始するところである。

答え：いえない。位置ゼロの通過は基準点を横切ったことを表すだけであり、折返しは前後の運動方向、すなわちグラフの傾きの符号の変化から判断するため。