第 060 講 波が伝えるもの

この講でできるようになること

- 波の進行と同じ媒質部分の振動を区別して説明できる。
- 振動する方向と波の進行方向を比べ、横波・縦波を判別できる。
- 波がエネルギーを伝えることと、媒質そのものが遠方へ運ばれることを区別できる。

波は何を運ぶのか

池に小さな波紋が広がるとき、水面の浮きは波紋と同じ距離だけ外側へ進むだろうか。水の流れや漂流を無視できる小さな波では、浮きは主に近くで揺れ、波の変化は遠くへ伝わる。実際の水面波では水の運動に横方向の成分もあり、純粋な横波と断定することはできない。

ひもを一度上下に動かして生じる波を考える。振動を生み出す場所を**波源**、振動が伝わる物質を**媒質**という。ひもを作る各小部分は周囲の部分に変化を伝えるが、波の山とともに右端まで移動するわけではない。

同じ小部分 A を追う

次の図は、右向きに進むひもの変形を、異なる三つの時刻で表した模式図である。各行の「A」は**同じひもの小部分**を表し、短い縦目盛りはその部分の静止時の位置（平衡位置）を示す。図の「時刻 0・1・2」は順番を表すだけであり、秒数ではない。折れ線は滑らかなひもの形を簡略化したものである。

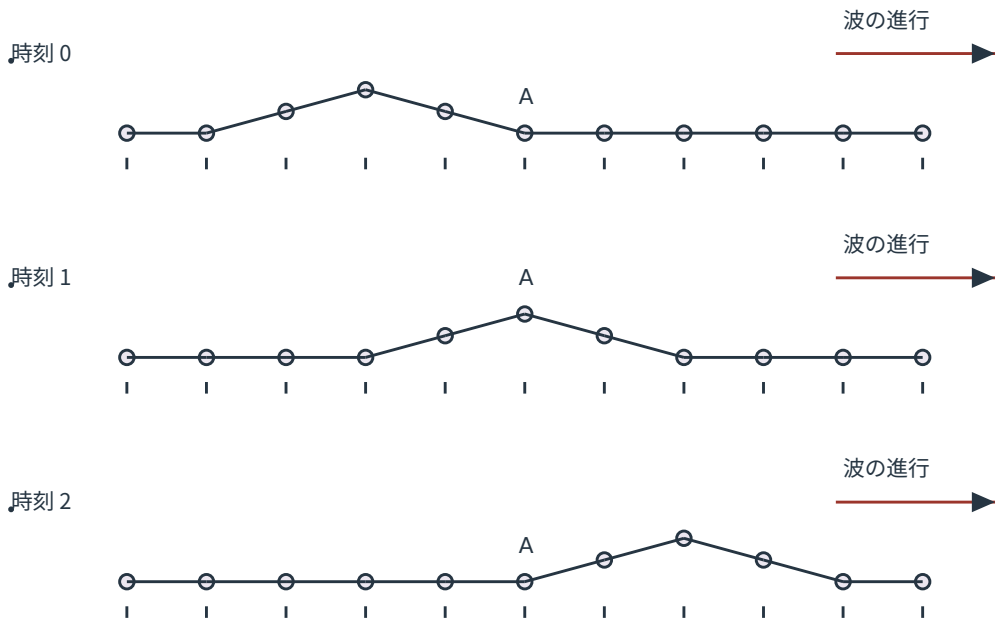


図 1　同じ記号 A は各時刻で同じ媒質部分を示す。各行は異なる時刻の模式的なスナップショット。

山は右へ進む一方、A の左右の位置は変わらず、A は上へ動いてから元の高さへ戻る。つまり、**山が進む距離**と**小部分 A が動く距離**は異なる。

機械的な波

媒質の一部の振動や変化が、隣の部分へ次々と伝わる現象を機械的な波という。このとき、伝わる変化と、一つひとつの媒質部分の運動を区別する。

横波と縦波

波の進行方向と、媒質の一つの小部分が振動する方向を比べて分類する。ここで「振動する方向」とは、同じ部分が往復する軸のことである。

縦波では密な部分が進む

長いばねの端を左右に押したり引いたりすると、巻きの間隔が狭い部分（密な部分）と広い部分（疎な部分）が伝わる。次の図では、点を小さな媒質部分に見立てている。空気分子の実際の軌道や間隔を精密に表したものではない。

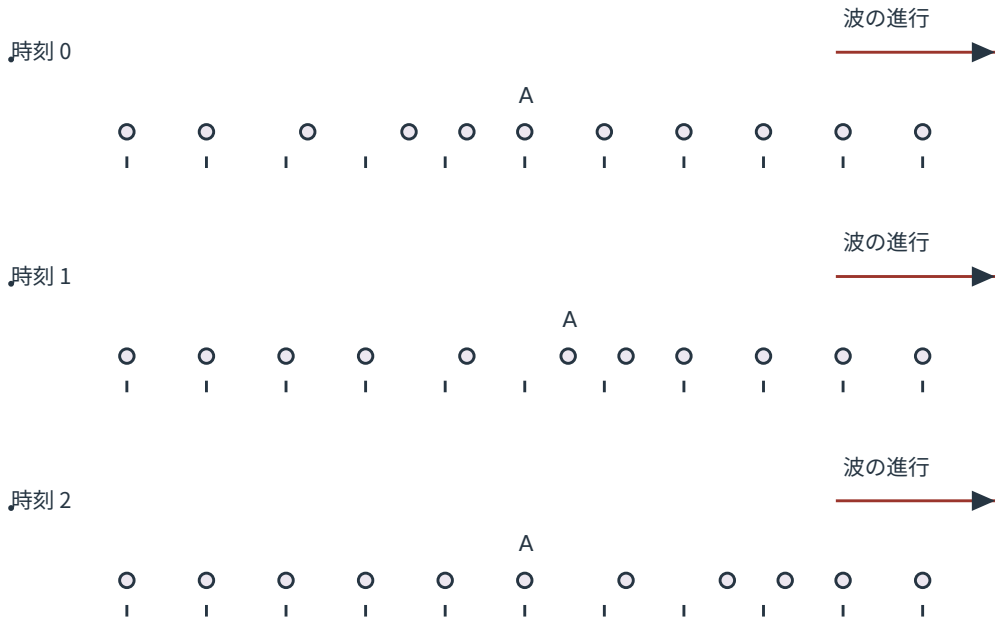


図 2　同じ記号 A は各時刻で同じ媒質部分を示す。各行は異なる時刻の模式的なスナップショット。

各行は同じ 11 個の部分を追ったものである。目印 A は平衡位置から一時的に右へずれて、その位置に戻る。一方、密な部分は右へ移る。**密な場所が移ることは、同じ粒子が密な場所と一緒に右端へ進むことではない。** 図中のずれや間隔の数値は描画用であり、実際の長さや時刻を表さない。

進行方向との関係

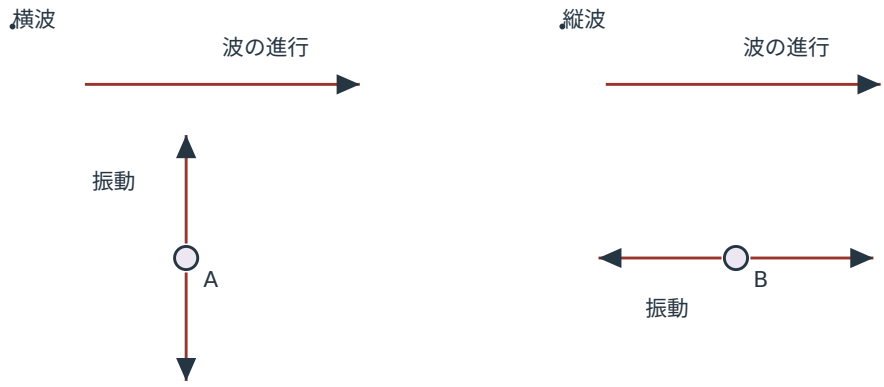


図 3　振動の方向は往復する軸、進行の向きは波が伝わる向き。

分類	媒質部分の振動軸と波の進行方向	例
横波	垂直	張ったひもを上下に振動させて横に伝える波
縦波	平行	長いばねを左右に押し引きして伝える波、空気中の音

分類で比べる二つの向き

横波か縦波かは、波が右へ進むか左へ進むかで決まらない。**媒質部分の往復する軸**と**波の進行方向**が、垂直か平行かで判断する。図の振動を示す反対向きの矢印は往復を表し、同時に二方向へ動くことを意味しない。

波はエネルギーを伝える

ひもを振る波源は、ひもにエネルギーを与える。ひもの一部が隣の部分に働きかけることで、そのエネルギーが先へ伝わる。機械的な波は、媒質を遠方まで運ばなくてもエネルギーを伝えられる。

音も、空気などの媒質の振動が伝わる機械的な波である。音源が振動していても、途中が真空なら音は伝わらない。ただし、**すべての波に媒質が必要という意味ではない**。媒質を必要としない波もあるが、その仕組みの詳細は本講では扱わない。

例題

例題 1

右へ進むひもの波で、ひもの各小部分は上下に振動している。ひもの目印 A は、波が通過する間も左右の位置を変えないものとする。

例題 1(1) この波は横波と縦波のどちらか。理由とともに答えよ。

例題 1(2) 波の山が A より右へ進んだとき、A も右へ運ばれたといえるか。説明せよ。

解答・解説

例題 1(1) 横波。波の進行は右向き、ひもの小部分の振動は上下方向であり、両者は垂直である。

例題 1(2) いえない。山という変形の位置は右へ進むが、目印 A の左右の位置は変わらず、A は上下に動く。波形と同じ媒質部分を取り違えないことが大切である。

例題 2

右へ進むひもの波で、同じ山が 0.20 s の間に右へ 0.60 m 移動した。ひもに付けた目印 A はこの間、左右の位置を変えずに上下に動いている。

例題 2(1) 山のこの区間の平均の伝播速度を、向きとともに求めよ。

例題 2(2) この間の A の水平方向の変位を求めよ。また、A の上下方向の速度をこの情報だけから求められるか答えよ。

解答・解説

例題 2(1) 既習の「移動した距離÷経過時間」を、同じ山の移動に適用する。

$$\frac{0.60\,\mathrm{m}}{0.20\,\mathrm{s}} = 3.0\,\mathrm{m/s}$$

したがって、山の平均の伝播速度は**右向きに** 3.0 m/s である。これは山についての区間平均であり、波の公式を新たに仮定したものではない。

例題 2(2) A の水平方向の変位は 0 m である。A の上下方向の速度は、上下の位置が時刻ごとにどう変わったかという情報がないため求められない。山の伝播速度を A の上下の速度として使うことはできない。

例題 3

右向きに進む小振幅のひもの波に、波源が 2.0 J のエネルギーを与えた。ある区間を考え、この区間でエネルギーの損失・反射・一時的な蓄積はなく、与えたエネルギーがすべて右側へ伝わるものとする。

例題 3(1) この区間を通過して右側へ伝わるエネルギーを求めよ。

例題 3(2) ひもの物質が左端から右端まで移動したことになるか。理由を述べよ。

©ミライコーチング

解答・解説

例題 3(1) 指定した区間では損失・反射・一時蓄積がないため、右側へ伝わるエネルギーは 2.0 J である。

例題 3(2) ならない。ひもの各部分が周囲と相互作用してエネルギーを受け渡すのであり、同じひもの部分が右端まで運ばれる必要はない。

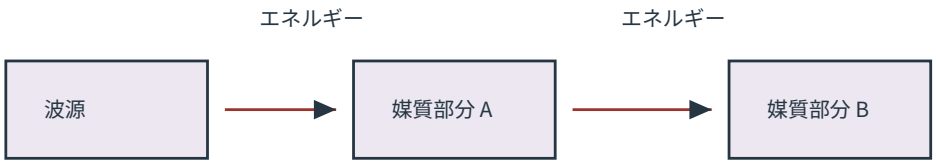


図 4　波によるエネルギーの伝達と、媒質そのものの一方向の輸送を区別する。

図の右向きの矢印は**エネルギーの受渡し**を表し、ひもの粒子がたどる道筋ではない。

演習問題

演習 1

演習 1(1) 左へ進むひもの波で、各小部分は上下に振動する。この波の分類と理由を答えよ。

演習 1(2) 右へ進む長いばねの波で、密な部分が右へ進み、ばねの各巻は左右に往復する。この波の分類と理由を答えよ。

演習 1(3) (2)について、「密な部分が右へ進むので、同じ巻が右端まで運ばれる」という説明の正誤を理由とともに答えよ。

対応する解説：巻末「解答 1」。

演習 2

ひもの同じ小部分 A の平衡位置からの上下の変位を、上向きを正として調べた。A は 0 cm から +2 cm へ動き、その後 0 cm に戻った。各区間で折り返しはない。

演習 2(1) この間の A の上下方向の変位を求めよ。

演習 2(2) この間に A が動いた道のりを求めよ。

演習 2(3) (1)(2)の結果から、波の山が進んだ距離を求められるか。理由を述べよ。

対応する解説：巻末「解答 2」。

演習 3

右へ進むひもの波で、同じ山は 0.40 s の間に 0.80 m 右へ移動した。その間、ひもの同じ目印 A は左右方向に移動せず、上下に振動していた。

演習 3(1) 山の平均の伝播速度を、向きとともに求めよ。

演習 3(2) A の水平方向の変位を求めよ。

演習 3(3) 山の平均の伝播速度が分かれば、その値を A の上下方向の速度としてよいか。理由を述べよ。

対応する解説：巻末「解答 3」。

演習 4

演習 4(1) 容器の中で音源を振動させ、容器内の空気を徐々に抜いていく。音が真空中を伝わるか答え、その理由を説明せよ。

演習 4(2) (1)の結果だけを根拠に「どのような波にも物質の媒質が必要である」と結論づけてよいか。答えよ。

演習 4(3) 波源がひもの小さな波に 2.0 J を与えた。指定した区間で損失・反射・一時的な蓄積がなく、エネルギーがすべて右側へ伝わる場合、区間を通過して右側へ伝わるエネルギーを求めよ。また、このことからひもの物質が右端まで運ばれたといえるか。

演習 4(4) 池の水面に浮く小さな浮きが波紋とともに外側へ進まない様子を考えるとき、無視している現実の効果を一つ挙げよ。また、水面波を上下振動だけの純粋な横波と断定してよいか答えよ。

対応する解説：巻末「解答 4」。

演習問題の解答・解説

解答 1

演習 1(1) 横波。波は左へ進むが、媒質部分は上下に振動し、振動軸と進行方向が垂直だからである。

演習 1(2) 縦波。ばねの巻の左右の往復運動と、密な部分が右へ伝わる方向が平行だからである。

演習 1(3) 誤り。右へ進むのは密になった状態であり、同じ巻は平衡位置の近くを左右に動く。密な部分の位置と、その場所を構成する巻を区別する。

©ミライコーチング

解答 2

演習 2(1) 最後の位置と最初の位置はどちらも 0 cm である。したがって、上下方向の変位は 0 cm となる。

演習 2(2) 上へ 2 cm、下へ 2 cm 動いているため、道のりは

$$2\,\mathrm{cm} + 2\,\mathrm{cm} = 4\,\mathrm{cm}$$

である。変位が 0 cm でも、移動の道のりはゼロとは限らない。

演習 2(3) 求められない。与えられたのは一つの媒質部分 A の上下運動だけであり、同じ山がいつどこにあったかは示されていないからである。

解答 3

演習 3(1) 同じ山が進んだ距離を経過時間で割る。

$$\frac{0.80\,\mathrm{m}}{0.40\,\mathrm{s}} = 2.0\,\mathrm{m/s}$$

答えは**右向きに** 2.0 m/s である。

演習 3(2) A は左右の位置を変えないため、A の水平方向の変位は 0 m である。

演習 3(3) 使えない。山の移動と A の上下運動は別の運動である。A の上下の位置変化と、それに要する時間が示されていないため、A の上下方向の速度は求められない。

解答 4

演習 4(1) 真空中では伝わらない。音は空気などの媒質の振動を伝える機械的な波であり、真空にはその振動を受け渡す媒質がないためである。

演習 4(2) 結論づけてはいけない。(1)で分かったのは機械的な波である音の性質である。媒質を必要としない種類の波もあり、すべての波へ一般化できない。

演習 4(3) 2.0 J。区間に損失・反射・一時蓄積がない条件なので、波源が与えたエネルギーが右へ伝わる。一方、**ひもの物質が右端まで運ばれたとはいえない**。エネルギーは隣り合う媒質部分の相互作用を通じて受け渡されるからである。

演習 4(4) 無視している効果の例は、**水そのものの流れによる浮きの移動**である。また、**純粋な横波とは断定できない**。実際の水面波では水の小部分に横方向の動きも生じ得る。浮きが概ねその場で揺れる説明は、流れや漂流を無視する近似である。