波の基礎

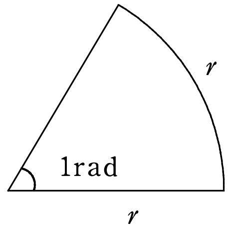
１． 媒質の動き

(1) 弧度法

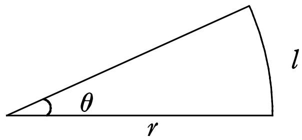
角度は通常1周360°の度を使っているが、この単位は計算上極めて不便である。たとえば中心角θ、半径rの弧の長さlは、θを度で表わせば

$$l=\frac{2\pi\theta}{360}r$$

と、かなり複雑である。



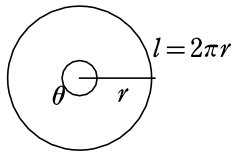
そこで、考えられたのは弧度法である。この角度の定義は半径と同じ弧の長さをもつ扇形の中心角を1rad（ラジアン）とするものである。
扇形の中心角が2倍になると、弧の長さも2倍になる。
すなわち、弧の長さと中心角は比例関係にある。
中心角がθ[rad]のときの弧の長さlは、中心角が基準1radのθ倍になっているので、弧の長さもθ倍になり、



$$l=r\theta$$

角度を度で表わした場合より、かなり簡単である。

・1周は何radか



円も一種の扇形である。中心角$\theta=360°$、
弧の長さ（円周）は$2\pi r$であるので、
$l=2\pi r$を上の式に代入すると、$2\pi r=r\theta$となり、

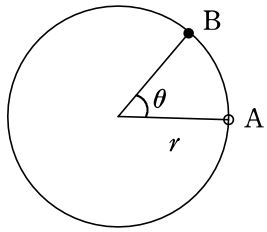
$$\theta=2\pi$$

となる。

「1周（360°）は2π[rad]である。」

以後、角度は特に指定がない以上弧度法を遣うものとする。

(2) 等速円運動



半径rの円周上を等速で円運動している物体がある。
この物体は時刻0において、Aの位置にいた。
ここを基準の位置とする。

＜位相＞

時刻tにおいてBの位置に移動した。Aからの角度をθとする。このθを**位相**という。

＜角速度＞

円運動における回転速度を表わすのに、1秒あたりの回転角度を使う方法がある。これを**角速度**という。角速度は円運動における回転速度の基準として使われる。この場合t秒間でθ[rad]回転しているので、角速度ωは

$$\omega=\frac{\theta}{t}$$

で定義される。

＜周回速度＞

　弧長ABは$l = r\theta$より、$r\theta$である。この物体の速さvは1秒あたりの移動距離である。この場合、t秒で円弧上を距離$r\theta$移動しているので、物体の速さvは

$$v = \frac{r\theta}{t}$$

$\theta = \omega t$であるから、これを代入して、

$$v = r\omega$$

となる。これを周回速度という。

＜周期＞

　円運動は1周する時間が重要であるが、これを**周期**という。ゆっくりとした回転のときに周期で表わすとわかりやすい。周期をTとすると、1周（2π[rad]）回転するのにT秒かかっていることになるので、角速度ωすなわち1秒あたりの回転角度は

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

これより、

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

となる。

＜回転数＞

　円運動の回転が速いときは周期で表わすよりも、1秒間の回転数で表わすほうがわかりやすい。これを回転数という。回転数fとは1秒間にf回転しているということである。1周2π[rad]であるから、1秒でf周、すなわち$2\pi f$[rad]回転していることになる。これは、角速度ωである。よって、

$$\omega = 2\pi f$$

これより、

$$f = \frac{\omega}{2\pi}$$

波動ではfとTとの関係が良く用いられる。fとTの関係は、$T = \dfrac{2\pi}{\omega}$、$f = \dfrac{\omega}{2\pi}$より、

$$T = \frac{1}{f}$$

となる。

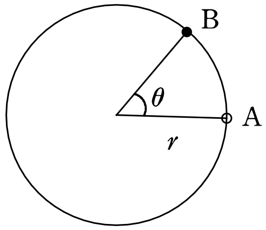
　回転速度を表わす方法は角速度、周回速度、周期、回転数と4通りあり、よく整理しないと混乱を招く。そこで、すべてを角速度基準で表わしておくとよい。そうしておくと、角速度さえ求めれば、そこから、必要なものが求められることになる。

回転速度 $\begin{cases} v = r\omega \\ T = \dfrac{2\pi}{\omega} \\ f = \dfrac{\omega}{2\pi} \end{cases}$

なお、波動では$T = \dfrac{1}{f}$もよく使われる。

２． 等速円運動

半径rの円周上を等速で円運動している物体がある。この物体は時刻0にAの位置にいた。ここを基準の位置とする。



＜位相＞

時刻tにおいてBの位置に移動した。Aからの角度をθとする。このθを**位相**という。

＜角速度＞

円運動における回転速度を表わすのに、1秒あたりの回転角度を使う方法がある。これを**角速度**という。角速度は円運動における回転速度の基準として使われる。この場合t秒間でθ[rad]回転しているので、角速度ωは

$$\omega = \frac{\theta}{t}$$

で定義される。

＜周回速度＞

弧長ABは$l = r\theta$より、$r\theta$である。この物体の速さvは1秒あたりの移動距離である。この場合、t秒で円弧上を$r\theta$移動しているので、物体の速さvは

$$v = \frac{r\theta}{t}$$

$\theta = \omega t$であるから、これを代入して、

$$v = r\omega$$

となる。これを周回速度という。

＜周期＞

円運動は1周する時間が重要であるが、これを**周期**という。ゆっくりとした回転のときに周期で表わすとわかりやすい。周期をTとすると、1周（2π[rad]）回転するのにT秒かかっていることになるので、角速度ωすなわち1秒あたりの回転角度は

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

これより、

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

となる。

＜回転数＞

円運動の回転が速いときは周期で表わすよりも、1秒間の回転数で表わすほうがわかりやすい。これを回転数という。回転数fとは1秒間にf回転しているということである。1周2π[rad]であるから、1秒でf周、すなわち$2\pi f$[rad]回転していることになる。これは、角速度ωである。よって、

$$\omega = 2\pi f$$

これより、

$$f = \frac{\omega}{2\pi}$$

波動ではfとTとの関係が良く用いられる。fとTの関係は、$T = \frac{2\pi}{\omega}$、$f = \frac{\omega}{2\pi}$より、

$$T = \frac{1}{f}$$

となる。

回転速度を表わす方法は角速度、周回速度、周期、回転数と4通りあり、よく整理しないと混乱を招く。そこで、すべてを角速度基準で表わしておくとよい。そうしておくと、角速度さえ求めれば、そこから、必要なものが求められることになる。

$$\text{回転速度}\quad \begin{cases} v = r\omega \\ T = \dfrac{2\pi}{\omega} \\ f = \dfrac{\omega}{2\pi} \end{cases}$$

なお、波動では$T = \frac{1}{f}$もよく使われる。

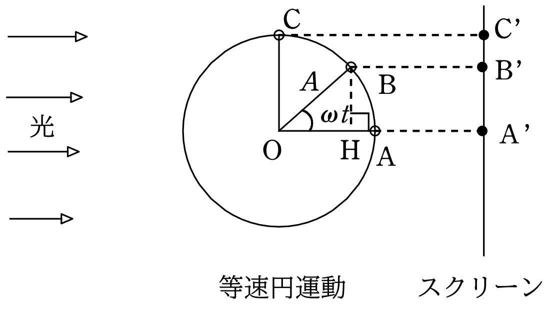
３． 単振動

(1) 単振動とは

円運動を真横から見たとき、物体は直線上の往復運動しているようにみえる。この運動を単振動という。単振動を考えるときは円運動の影として考えると良くわかる。

半径Aの円周上を角速度ωで等速円運動している物体がある。このとき真横から光が当たっているとし、反対側にスクリーンがあり、回転している物体の影がスクリーンに映っているものとする。

出発点をAとし、ここを基準として角度（位相）を考える。時刻0における影の位置をA’とする。



＜変位＞

t秒後の位置をBとする。中心角（位相）はωtであり、影の位置はB’である。このときのスクリーン上での基準の位置からのずれA’B’を**変位**という。単振動においても位相を

考え、円運動しているときの中心角（位相）を単振動の位相と定義している。

BからOAに垂線をおろし、その足をHとする。BH＝A’B’である。すなわち、変位はBHの長さである。この変位をxとすると、回転半径がAであるから、

$$x = A\sin\omega t$$

が成立している。

＜振幅＞

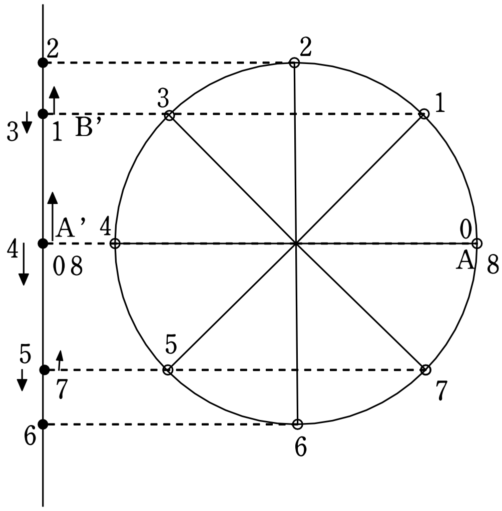
位相が$\frac{\pi}{2}$（90°）のときの円運動の位置をCとする。このときの影はC’である。この位置は変位の最大値である。このときの変位（A’C’）を**振幅**という。

＜位相＞

周期8秒の単振動を考えてみよう。

周期8秒とは角速度が$\frac{\pi}{4}$[rad/s](45°/秒)の等速円運動の影の運動を意味する。

時刻0にA’（位相0）にあった物体は1秒後にB’の位置に来た。このときの位相は$\frac{\pi}{4}$である。このように、1秒ごとの単振動における物体の位置を右図に○で表している。○のそばの数値は出発してからの時間を表わしている。



この図によれば、1秒後と3秒後は同じ位置であるが、1秒後は上向きに動いており、3秒後は下向きに動いている。位相は1秒後は$\frac{\pi}{4}$で3秒後は$\frac{3}{4}\pi$である。単振動の場合物体の位置を表すのに、変位で表わすと同じ位置ではあるが速度の向きが違うものがあり、不便である。それに対して、位相で表わせば、変位、速度ともに区別できる。単振動における物体の位置は位相で表すのが最も良いことがわかる。例として5秒後の位置は位相が$\frac{5}{4}\pi$、7秒後の位置は位相が$\frac{7}{4}\pi$で表わすことができる。この位相を逆周りに表現して、5秒後は位相$-\frac{3}{4}\pi$、7秒後は位相$-\frac{\pi}{4}$でも良いのである。

「単振動は位相を円運動しているときの角度θであらわす。」

＜角振動数＞

単振動は等速円運動の影であるから、単振動の位相も円運動と同じく一定の割合で変化する。その速度（円運動における角速度）を**角振動数**という。

基準の位置を出発してからt秒後の位相をθとすると、角振動数ωは、

$$\omega = \frac{\theta}{t}$$

で表わされる。これも等速円運動と同じである。

＜振動数＞

1秒間の振動回数は等速円運動の回転数に相当するものである。これを振動数という。

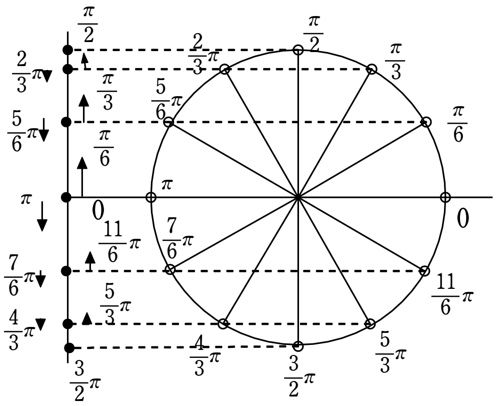
円運動の回転数と同じ式$f=\dfrac{\omega}{2\pi}$がそのまま成立する。

回転速度を表わす方法は角速度、周回速度、周期、回転数と4通りあり、よく整理しないと混乱を招く。そこで、すべてを角速度基準で表わしておくとよい。

単振動の場合の角速度を**角振動数**という。

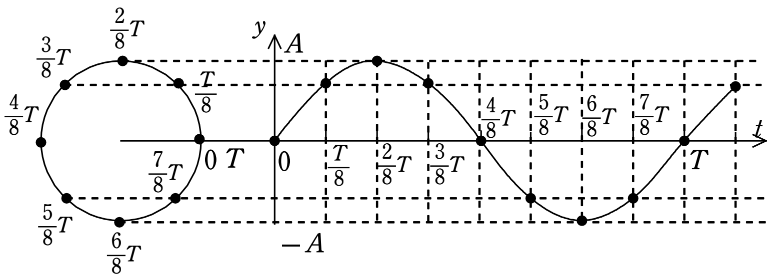
(2) 単振動の位相

図に単振動の位相と円運動の位相を対比して表わしている。単振動の位相が、読めるようにして正弦波を考えるようにすること。



(3) 単振動のグラフ

振幅A、周期Tの単振動における各時刻の変位をグラフにしてみると右図のようになる。正弦曲線である。



単振動における変位を表わす式は、各振動数をωとすると、

$$y=A\sin\omega t$$

である。$T=\dfrac{2\pi}{\omega}$より、$\omega=\dfrac{2\pi}{T}$となるので、これを代入すると、

$$y=A\sin\frac{2\pi}{T}t$$

となる。これが、上のグラフの式である。

この式は媒質が動き始めてからt秒後の媒質の変位を表わす式である。

４． 正弦波

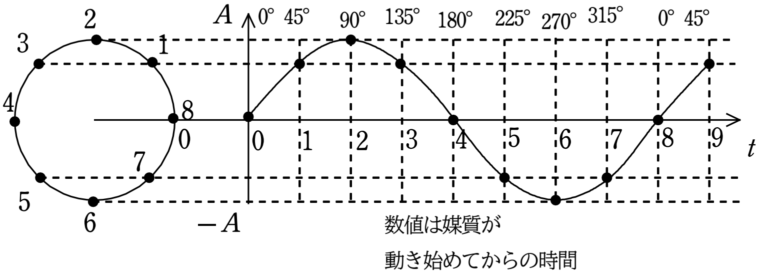
⑴ 正弦波の波形

今まではひとつの媒質の動きについて考えてきた。波は多くの媒質の動きによってできたものである。媒質集団が形成する形がどのように変化するかを時間を追って追及することによって波の動きをつかむことができる。波動を理解するにはじっくりと図を描いてその動きを確認するのが一番である。

いきなり文字を使ったのではわかりにくいので、周期8秒の単振動をする媒質集団の波の形を考えることにする。回転半径Aの円周を角速度$\frac{\pi}{4}\mathrm{rad/s}$（45°/s）で回転している媒質が右端の点から回転し始めてからt[s]立った時の変位yを計算すると、以下のようになる。

時刻	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
位相	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	0°	45°
弧度	0	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{3}{4}\pi$	π	$\frac{5}{4}\pi$	$\frac{3}{2}\pi$	$\frac{7}{4}\pi$	0	$\frac{\pi}{4}$
変位	0	$\frac{\sqrt{2}}{2}A$	A	$\frac{\sqrt{2}}{2}A$	0	$-\frac{\sqrt{2}}{2}A$	$-A$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}A$	0	$\frac{\sqrt{2}}{2}A$

これをグラフにすると下のようになる。



このグラフの式は

$$y = A\sin\frac{\pi}{4}t$$

である。

一つ一つの媒質がこの単振動をするような正弦波を考えていくことにする。

下の図の円に書いてある数値は、媒質が動き始めてからの時間とその位相を表わしているものであり、x軸上にある数値は、原点からの距離を意味しており、同時に各媒質の番号とする。以後各媒質はこの番号で表わすものとする。また、x軸上の白丸は1mごとに並んでいる媒質を表わしている。

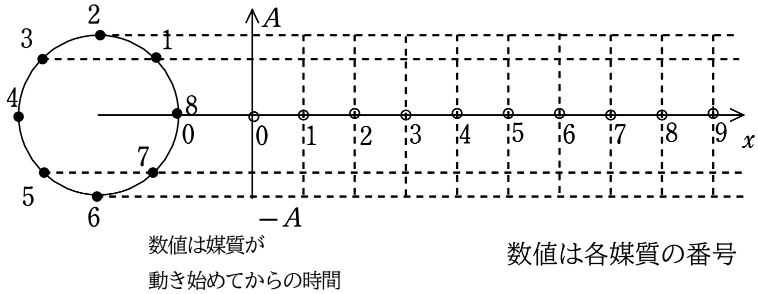
すべての媒質が同時に同じ位相で動いたのでは、波にならない。波は一つの媒質が動くとその隣の媒質が、少し遅れて動かなければならない。ここでは、位相$\frac{\pi}{4}$（45°＝1s）ずつ遅れて、隣の媒質が動くものとする。下の図ではまだ媒質は動いていない。原点の媒質が動き始めてからの時間をtで表わすことにする。

波の基礎

これからの論で原点の媒質が動き出してからの時間と各媒質が動き出してからの時間を区別すること。

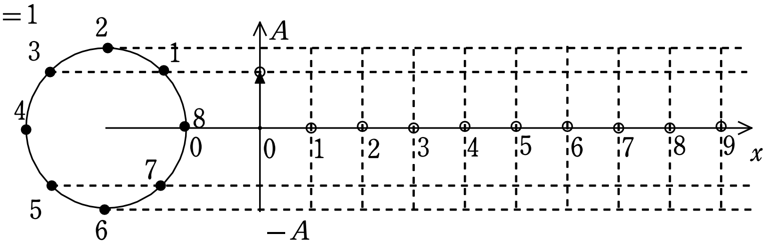
$t=0$において、どの媒質もまだ動いていない。

これから、1秒ごとの各媒質の動きを追求して見よう



$t=1$のときは、原点の媒質が動き始めてから1秒経っているので原点媒質の位相が45°である。原点の媒質が45°動いたので、隣の媒質1が動き始める。

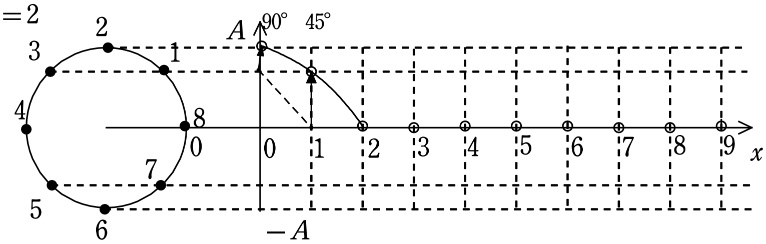
$t=1$



$t=2$のとき、媒質0は動き始めてから2秒経っているので、位相90°、媒質1は動き始めてから1秒経っているので位相90°動いている。実線がその時刻による波形で破線が1秒前の波形である。

矢印は各媒質の1秒間の動きを示している。

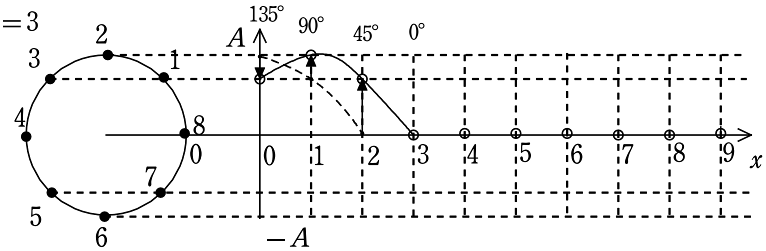
$t=2$



$t=3$のとき、

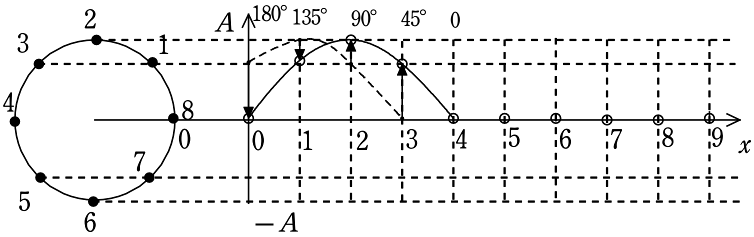
媒質番号	0	1	2	3
動き始めてからの時間	3	2	1	0
位相	135°	90°	45°	0°

$t=3$



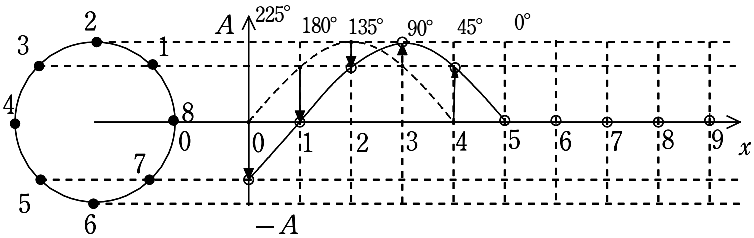
$t=4$のとき

媒質番号	0	1	2	3	4
動き始めてからの時間	4	3	2	1	0
位相	180°	135°	90°	45°	0°



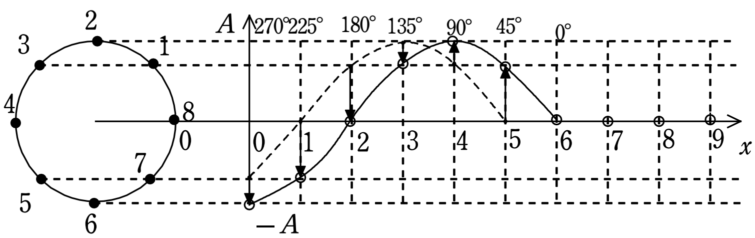
$t=5$のとき

媒質番号	0	1	2	3	4	5
動き始めてからの時間	5	4	3	2	1	0
位相	225°	180°	135°	90°	45°	0°

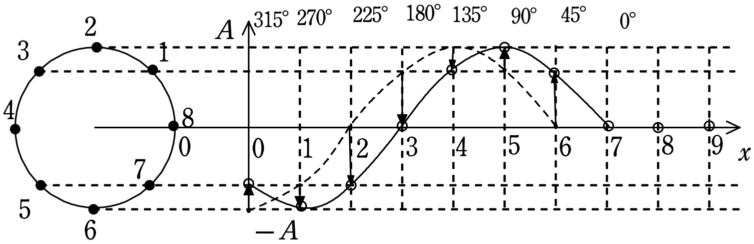


$t=6$のとき

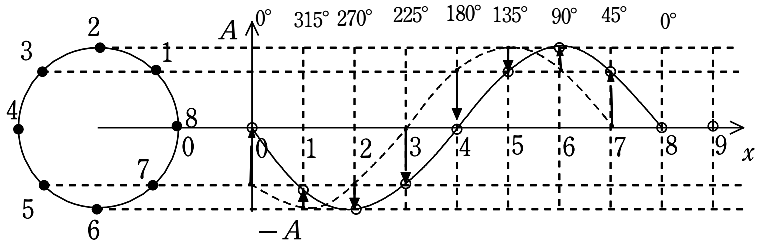
媒質番号	0	1	2	3	4	5	6
動き始めてからの時間	6	5	4	3	2	1	0
位相	270°	225°	180°	135°	90°	45°	0°



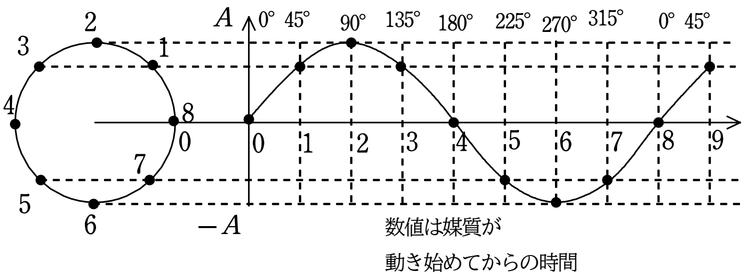
	媒質番号	0	1	2	3	4	5	6	7
$t=7$のとき	動き始めてからの時間	7	6	5	4	3	2	1	0
	位相	315°	270°	225°	180°	135°	90°	45°	0°



	媒質番号	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$t=8$のとき	動き始めてからの時間	8	7	6	5	4	3	2	1	0
	位相	0°	315°	270°	225°	180°	135°	90°	45°	0°



横軸がtの単振動のグラフをもう一度ここに示して見る。



正弦波のグラフと単振動のグラフを１周期分（8秒）見比べると、よく似ているが次の点が違うことが分かる。

①　変位yが正負逆となっている。

②　位相の並び方が逆になっている。

この違いを明確に理解しておく必要がある。

５．正弦波の式

⑴　正弦波の動き

ここまで、1秒ごとに8秒間各媒質の動きを作図してきた。この図を見てわかることをまとめてみると、

①　各媒質は、上下に単振動している。

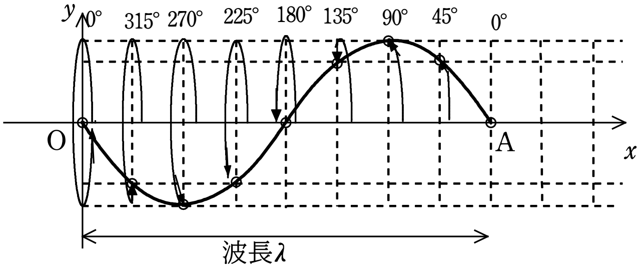
②　各媒質は左隣の媒質よりも少し遅れて動いている。

③　媒質の並びが全体として波の形を作っている。（これを波形という。）
④　波形は右方向へ一定速度で平行移動している。

波の動きについてはここでまとめた以外にも細かいものが多く存在する。それらを上げればきりがないので、これらの図を自ら作図して、各媒質の動き、各媒質の位相、波形の動きを自ら確認してほしい。それを実行すると、波動の基礎が良くわかるのである。形だけ見て分かったつもりになってはいけない。

これらの図を見て、最も重要なことは波形は右方向へ平行移動しているが各媒質は上下に動いているだけであるということである。このときの波形の動く速さを**波の速さ**という。これは決して媒質の速さではないことに注意を要する。このように媒質の振動方向と波形の移動方向が直角になっている波を**横波**という。

周期T、波の速さvの波について波が動き始めてからT秒後の波形を描いてみると次のようになる。



T秒であるから原点の媒質がちょうど１回振動している。位相は360°である。右隣の媒質は45°遅れて動いているので、位相が315°である。このように各媒質の動きを調べてみると、各媒質は上の図のようにならぶ。そのとき、波の先端はA点まで達している。A点とO点の媒質は同じ位相である。波はこのように同じ位相の媒質が定期的に訪れる。この同じ位相になっている媒質間の距離を波長という。この場合長さAOが波長である。波長をλとする。1周期Tの間に波の先端はA点まで達しており、波の進む速さがvであるから、

$$\lambda = vT$$

が成立している。振動数fで表わすと、$T = \dfrac{1}{f}$より、

$$v = f\lambda$$

の関係がある。

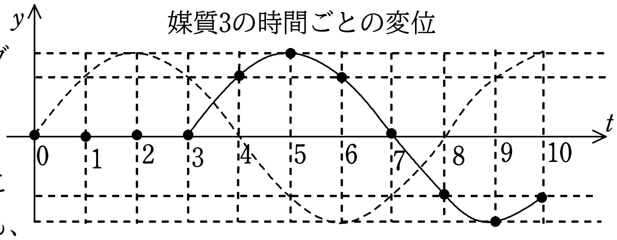
⑵　媒質3の動き

周期8秒の波の動きを8秒間調べたが、ここで、3番の媒質の動きを時間ごとにグラフにしてみよう。最初の3秒間は波が届かないので動いていないが、3秒後から動き始めている。

原点が動き始めてからの時間	0	1	2	3	4	5	6	7
媒質が動き始めてからの時間				0	1	2	3	4
媒質の位相	0	0	0	0	45°	90°	135°	180°
媒質の変位	0	0	0	0	$\dfrac{\sqrt{2}}{2}A$	A	$\dfrac{\sqrt{2}}{2}A$	0

このグラフは横軸がtであることに注意を要する。このグラフにおいて破線は原点の媒質の動きを表している。

このグラフを見てわかることは、原点で振動を始めても、その位置まで波が届かないと



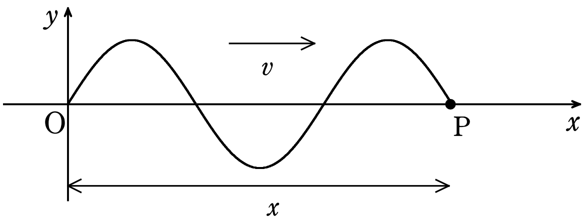
その媒質は動かないということである。この場合、この媒質は原点の媒質が動き始めてから3秒後に波が届いているので、3秒後から媒質が振動を始めている。この媒質の動きは原点の媒質の動きより3秒遅れて動いていることになる。3秒遅れで動いた単振動のグラフは原点の媒質の単振動のグラフを右方向に3平行移動したグラフであることを意味している。

元のグラフの単振動の式は　$y=A\sin\dfrac{\pi}{4}t$

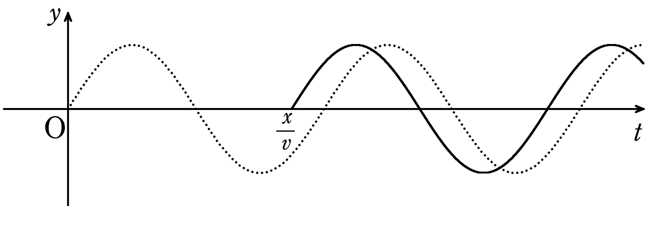
媒質３の単振動の式は　$y=A\sin\dfrac{\pi}{4}(t-3)$

(3)　座標xにある媒質の動き

座標xにある点Pの媒質の動きを表す式を考えてみよう。この媒質を伝わる波の速さをvとすると、原点を出発した波が点Pに達するのは時間$\dfrac{x}{v}$だけ経ったときということになる。



次に原点を出発した時刻を0とした、点Pの単振動のグラフを考えてみよう。点Pの媒質は時刻$\dfrac{x}{v}$のときに動き始める。



上のグラフで破線が原点の媒質の動きを示している。このグラフを見ても分かる通り、原点媒質のグラフを右方向に$\dfrac{x}{v}$平行移動したグラフである。

原点媒質の単振動を表す式は

$$y=A\sin\frac{2\pi}{T}t$$

である。よって、この式を右に$\frac{x}{v}$平行移動したグラフの式は

$$y=A\sin\frac{2\pi}{T}\left(t-\frac{x}{v}\right)$$

展開すると、

$$y=A\sin 2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{x}{Tv}\right)$$

ここで、$\lambda=vT$であるから、

$$y=A\sin 2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{x}{\lambda}\right)$$

これが、正弦波の式である。

(4) 初期位相

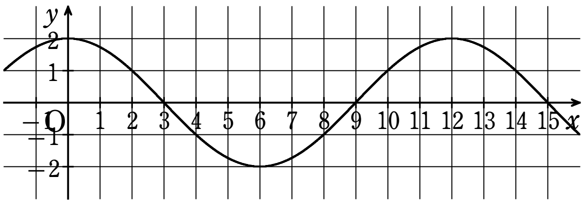
今までの媒質の動きはすべて位相0の位置から動き始めたとしたが、位相0の位置から動き始めるとは限らない。位相$\frac{\pi}{2}$から動き始めることもありうる。この動き始めの位相を**初期位相**という。初期位相をϕとすると、媒質の各時刻の位相はϕだけ常に大きいことになる。よって、上の正弦波の式は

$$y=A\sin\left\{2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{x}{\lambda}\right)+\phi\right\}$$

となる。わかりやすくいうと、初期位相は$t=0$、$x=0$の位相のことである。

(5) 例題

時刻0における正弦波の波形が右図のようになっている。この正弦波が右向きに4m/sで動いているとき，t[s]後の波形を表す式を求めよ。



＜解説＞

このグラフの式は　$y=2\cos\frac{\pi}{6}x$　である。

この波が右向きに4m/sで動くのであるからt[s]後は$4t$だけ右に平行移動したグラフとなる。よって，

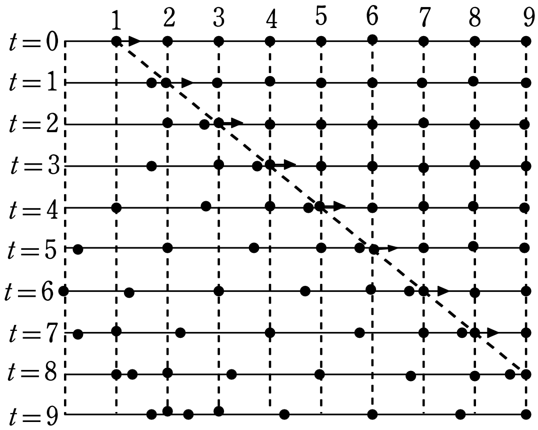
$$y=2\cos\frac{\pi}{6}(x-4t)$$

であらわされる。

６． 縦波

(1) 縦波の動き

今までの波は、媒質の振動方向と波の進行方向は直角であった。それに対して媒質の振動方向と波の進行方向が同じ方向の波を縦波という。縦波は波形がはっきりしないため理解しにくいが、媒質の変位の方向を変えて考えることにより理解できる。その方法を述べ



ることにする。

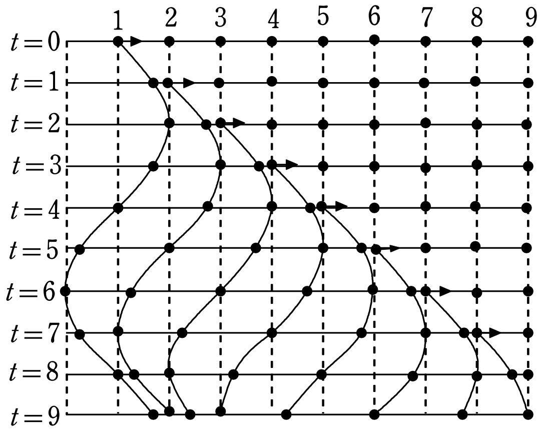
まず、時刻0において、各媒質が一様に並んでいたとする。いま、媒質1を右側に動かす。

時刻1において、媒質1が媒質2に接近するために、媒質2が圧迫を受けて右方向に動き始める。

時刻2において、媒質2が媒質3を圧迫し媒質3を動かす。媒質1は媒質2が動いたためにさらに右に動く

時刻3において、媒質1は右に動きすぎたために、その反動で元に戻り始める。以後、同じような調子で各媒質が作用方向にゆれ、その振動が右方向に伝わっていく。

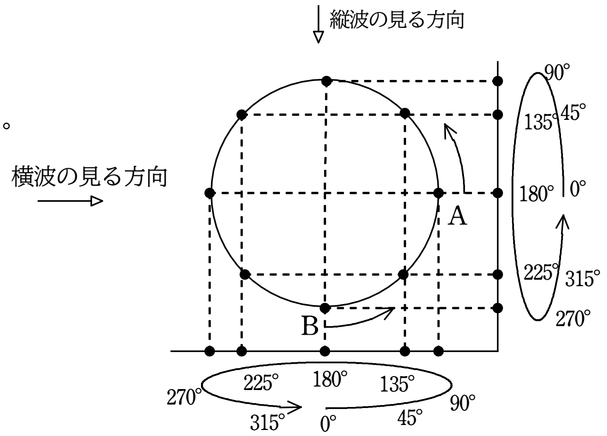
斜めに入っている破線は波の先端を表わしており、これが直線になっている。このことは、振動が伝わるのが一定の速さであることを意味している。これを波の速さという。



ひとつひとつの媒質の動きがわかるように、媒質の位置を滑らかにつないだのが右図である。これを見ると、各媒質は左右方向に単振動していることがわかる。そして、その振動は、右隣の媒質が少しずつ遅れて動いていることもわかる。これらの点はすべて横波と同じである。

縦波は媒質の振動方向が波の進行方向と同じであることを除き横波と同じ原理である。

⑵　縦波の位相



今までの横波は等速円運動を横から見たときの，Aの位置からの回転角度を位相と呼んでいた。右図の右端の角度である。

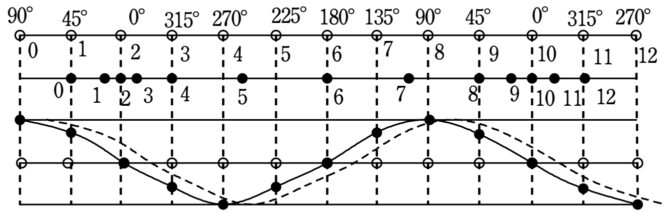
縦波の場合は振動方向と進行方向が同じになるので，上から見たときのBの位置からの回転角度で位相をあらわす。右図では，下端の角度である。

縦波の単振動は0°のとき，右向きに最大速度となり，90°で静止，180°で左向き最大速度になり，270°で静止するという運動である。

⑶　縦波の波形が見えるようにする。

下の図の最上段の白丸は縦波が来ていないときの媒質の位置を示している。その上の角度はある瞬間のその媒質の位相をあらわしている。この場合の縦波の振動範囲は隣の媒質までの距離としている。白丸の下の数値は媒質の番号である。

2段目の黒丸はこの瞬間の媒質の位置を示している。2段目の番号と1段目の番号が同じ丸が同じ媒質をあらわしている。たとえば0番の媒質は最上段では左端にあるが，2段目では，右に一目盛りずれている。そのずれが,この媒質の変位をあらわしている。2番の媒質は同じ位置にあるので，変位0であることを示す。



この図を見ることにより，この縦波に関して以下のようなことが分かる。

①　図を見ることにより最も密になっているのは2番および10番の媒質，最も疎になっている媒質は6番である。位相であらわすと，

最も密になるのは位相0°の位置，最も疎になるのは位相180°の位置。縦波は媒質がそのなっている部分と密になっている部分が交互にやってくるので**疎密波**ともいう。

②　静止している媒質は横波では90°及び270°なので，0番,4番,8番,12番の媒質が静止していることになる。

③　右向きに最大速度になっている媒質は位相0°のときで，2番と10番の媒質である。

④　5番の媒質は位相225°なので，左向きに動いている。

以上のように位相が分かれば媒質の動きが分かるのであるが，通常位相は与えられていない。よって，2段目の黒丸の分布を見て，各黒丸の位相を判別できるようにすることが重要である。

先の図の3段目，4段目，5段目は縦波を横波のように書き換えるためのスペースである。4段目の白丸は,波が来ていないときの媒質の位置を示している。2段目は縦波なので,媒質は左右に変位するが,4段目は横波なので,媒質は上下に変位することになる。振動範囲は上端が3段目，下端が5段目とする。

2段目の黒丸の変位（1段目の白丸の位置とのずれ）は左右のずれであるが,これを上下のずれに変更すればよい。縦波の位相90°は右に最大のずれを意味しているが,横波では上に最大のずれを意味している。つまり，右にずれている媒質を同じ距離だけ上にずらし変え，左にずれている媒質を下に同じ距離だけずらし変えたのが，3段目から5段目の黒丸である。

この黒丸を滑らかにつなぐと横波の波形が現れる。このようにして縦波を横波に変換することができるのである。横波を見れば,グラフの最上端になっている0番と8番が位相90°で最下端になっている4番と12番が位相270°であることが分かる。

最も重要なのは変位が0の2番6番10番の媒質である。これら媒質は変位が0なので，位相は0°なのか180°なのか判別が難しい。速度が上向きなら位相0°下向きなら位相180°である。

媒質の速度方向を探るために，若干時間がたったときの波形を図に追加記入すればよい。この図では波動は右向きに動いているので，この波形をわずかに右に平行移動すればよいのである。その平行移動した波形が破線の波形である。

この破線のグラフを見ると,2番と10番の媒質は正の方向にずれており,6番の媒質は負の方向にずれている。これにより2番と10番の媒質は位相0°，6番の媒質は位相180°であることが判別できる。

このようにして縦波の位相を判別できるようにしておけば，縦波に関する問題はすべて解けるはずである。