

2. 波の種類

波はエネルギーの伝送や情報の伝達に使われる。

たとえば、マイクロ波は、電子レンジで食品の加熱に使われるし、衛星回線による TV や国際電話で信号伝達に使われる。

この講義に出てくる波の種類を先に記しておこう。それぞれの種類について使い方もいくつか記す。

音波(sound wave)は、それが伝わる媒質の振動である。

たとえば、声を出すとき声帯がそれに隣接する空気を振動させ、その振動が周囲に広がる。

室温の空气中で音の速さは約 340 ms^{-1} である。

一般に、音速は空气中より液体や固体中のほうが速い。

人間の可聴域を超える音波を超音波(ultrasonic)という。

病院では胎児の検査に超音波スキャンが行われる。

医用では「超音波エコー診断」という名称で使われる。

電磁波(electromagnetic wave)は電場と磁場の振動であり、何もない空間を伝わる。

電場と磁場の振動が周囲の空間に伝わる。

電磁波のスペクトルは波長によって区分される。

どんな電磁波も同じ速さすなわち光速、約 300000 km s^{-1} で空間を進むことに注意せよ。

地震波(seismic wave)は大地の振動であり、普通は地震がこれを引き起こす

地震波を記録することで地球の内部構造が解明されてきている。

水波(water wave)は波の一般的な性質を学ぶのに役立つ。

あとで、リップルタンクについて説明するとき、波の一般的な性質をどのようにして調べるのか示す。

沖に設置される波力発電は一国の電力供給に大いに貢献するかもしれない。

3. 波を測る(1)

図は、ロープを移動する波の、ある瞬間の様子を示す。

波のピークが左に向かって伝播する（伝わる）。

ロープの1点以外は見えないとすると、その点の動きはどのように言い表せるだろうか？

この点は波が伝播する向きと直交する線にそって上下に動く。

もし奇異な感じがするなら、水面に浮かぶ小さな物体を何かしらの波が通り過ぎるときの様子を観察してみるとよい。

物体は浮いたり沈んだりしている。

振幅(amplitude)は、波の平衡位置から最大に変位した点までの距離である。

図は中央から測った波の高さである。

波長(wavelength)は、波の一つのピークから次のピークまでの距離である。

波長のシンボルとしてギリシャ文字の λ (ラムダと読む)を用いる。

振動数(frequency)は、ある点が1秒間に何サイクル振動するかを表す。

振動数は周波数ともいう。

振動数は、ある位置を1秒間に何個の波長に相当する部分が通過するかも表す。

振動数のシンボルは f 、あるいはギリシャ文字の ν (ニュー)である。

振動数の単位はヘルツ(Hz)で、1秒あたり1サイクルに等しい。

波を測る(2)

【波の速さと振動数，波長の関係】

時間 T だけすなわち1サイクル後の波を示した。どのピークも時間 T の間に1波長分だけ移動する。

$$\text{伝播の速さ } c = \frac{\text{移動距離}}{\text{経過時間}} = \frac{\lambda}{T} = \frac{\lambda}{(1/\nu)} = \nu\lambda$$

したがって

$$c = \nu\lambda$$

【注意】

記号 c は、普通は、光速を表すときに用いる。

どんな観測者が見ても、また宇宙のどこでも光速が一定なので constant という単語の頭文字 c をあてた
いから。

このスライドの波は、光の波と限っていないので、波の速さに記号 c を用いるのは、少し常識からはず
れている。

普通は、こういうとき velocity の頭文字の v を使うが、見てのとおり、振動数の ν (ニュー) と紛ら
わしい。

それで、 c を使うことになった。

5. 例題 1.1

解

$$v = 3.0 \times 10^8 \text{ m s}^{-1},$$

$$\lambda = 590 \text{ nm} = 5.90 \times 10^{-7} \text{ m},$$

$$v = f\lambda$$

$$\therefore f = \frac{v}{\lambda} = \frac{3.0 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}}{5.9 \times 10^{-7} \text{ m}} = 5.1 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

6. 波を測る (3)

ちょうど1波長だけ離れた2点はそろって上下運動をする.

この2点は同じ位相 (in phase) で振動するといひ,

どんなときにも両者は平衡の位置から測って同じ距離, 同じ側にあり, 運動の方向も同じであることを意味する.

右方向に進む波: $\sin\left(-\frac{2\pi x}{\lambda} + \frac{2\pi t}{T}\right)$ を描いた.

横軸は x ,

上から順に $t = \frac{T}{8}$ (1/8 周期) ずつ時間を経た空間波形

任意の2点間の位相差(phase difference)は1サイクルの何分の1かになるを表す量.

位相差のシンボルは $\Delta\phi$ (デルタ・ファイ)である.

位相差の値は次のいずれかで表す:

- ・ 度(degree)
1サイクルを 360° とする
- ・ ラジアン(radian).
 2π ラジアン= 360° となる角度の測り方.

【注意】 ラジアンは, 円の半径とその角を見込む円弧の長さの比.

したがって, ラジアンは(長さ÷長さ)となり, 単位が無い.

$\theta = \pi \text{rad}$ のような書き方をするとき,

- ・ rad は単位ではなく,
- ・ その量がラジアンの定義によって測った角度であることを示している

7. 波の性質

リップルタンクを使う

リップルタンクは、水を貯めたお盆のような装置である。

これを使って波の反射、屈折および回折を調べることができる。

同位相で振動する点をつなげたものが波面であることに注意せよ。

スクリーンに写る波面の影は波頭であると考えて良い。

反射

平行波と円形波が様々な形の壁に当たって反射する様子を調べる

(3次元の平面波と球面波に対応する用語だが十分に定着していない)。

棒を寝かせて水面をたたくと、平行波が発生する。

これを平面(すなわち直線)の反射板に導く。

あるいは、平行波を凹面あるいは凸面の反射板に導き、

円形波を発生し直線や曲線の板で反射させる。

直線反射板で反射される平行波

反射板と入射波面のなす角は反射板と反射波面のなす角に等しい。

平面鏡で反射される光で同じことが観測される。

凹面反射板で反射される平行波

反射波は、反射板の焦点(focal point)と呼ばれる一点に集まる。

衛星放送の受信部は反射板の焦点に置いて最大強度の信号を得るようにする。

直線反射板で反射される円形波

この波は、発生源の点が手前にあるのに、あたかも反射板の後ろの一点から来たように反射される。

この効果はこちら側から平面鏡をのぞき込んだときに自分の像が鏡の反対側、等距離のところに見えるのと同じである。

屈折

水深の異なる部分の境界を斜めに通過する水波は進行方向を変える。

この方向の変化を屈折(refraction)という。

水深の浅いところより深いところで水波が速く伝わるために起きる現象である。

光線が一方の透明な媒質から他方に進入するときも屈折が起きる。

凸レンズで像が作られることを屈折で説明したものである。

回折

隙間や障壁の縁を通過すると波は様々な方向に散らばる。

この効果は回折(diffraction)として知られる。

通過する隙間が広いか狭いかにより、平面波が通過するときの回折の効果が異なる。

隙間の幅が狭いほど回折が大きくなる。

顕微鏡や望遠鏡を通し見るとき、開口を通過する光の回折のため像の詳細さには限界がある。

高速度撮影で光量確保のため絞りを広げると、回折のために像が不鮮明になることはある。

しかし、絞りを広げたときに被写界深度が浅くなるのは光線として、すなわち回折とは無関係に、理解できる現象である。

干渉

つるした梁を振動させてできる平面波が金属の障壁に開いた2個の狭い隙間に到達する。

2個の隙間のそれぞれで回折した波が重なり合う結果として強まる、あるいは打ち消されてきた模様。

すなわち干渉パターンをつくりだす。

強まるのは、それぞれの隙間から到達する波が同位相になる位置である

(たとえば、一方の隙間からの山と他方の隙間からの山が重なると大きな山になり、谷と谷が重なると大きな谷になる)。

打ち消されるのは、それぞれの隙間から到達する波がちょうど逆位相になる位置である

(たとえば、一方の隙間からの山と他方の隙間からの谷が重なる位置)。

点光源から出た光が近接する2個の狭いスリットを通過すると明暗の縞模様からなる干渉パターンをつくるという事実から、光の波動性が帰結された。

一方のスリットから来た光が他方のスリットからの光と打ち消しあった位置が暗い部分である。

(あとで学ぶ光の項で学ぶが) 光の波長はこの効果を用いて導出する。

8. 縦波と横波

波が媒質を通過するとき、媒質の粒子が振動する。

粒子の振動数は波の振動数と同じである。

ほとんどの波が縦波 (longitudinal wave) もしくは横波(transverse wave)のいずれかに分類される。

縦波では粒子の振動の方向と波が伝わる方向が同じ、横波では直交する。

【縦波】

波の伝播方向と平行(すなわち伝わる方向にそって)媒質粒子が振動する。

スリンキー (コイル状のばねのおもちゃ) の一端を前後に動かして縦波を作ることができる。

つぎつぎと圧縮された部分がスリンキーを伝わる。

音波(sound wave)は縦波である。

スピーカーに交流を流すと振動板が前後に動かされて音波が生じる。

振動板が前方に動くとその空気が圧縮され、後方に動いてからまた前方に動き次の圧縮を作り出す。

事実上、音波が空気を通過するとき空気は前後に振動する。

地震の P 波 (primary seismic wave) は縦波である。

P 波は S 波や表面波より速く伝播する。

S 波は地震で発生する別の種類の波である。

P 波は媒質を押ししたり引いたりしながら進むので、固体と液体の両方を伝わることができる。

【横波】

媒質粒子の振動方向と伝播する方向が直角になる波がある。

ロープの一端を横に振って横波をつくることができる。

横波の振動方向が一定の面内にあるとき、偏波した(polarized)波という。

振動の面が変動するとき偏波していない(unpolarized)波という。

波が進む方向から見ると偏波した波は振動方向が一直線になるが偏波していない波はそうならない。

電磁波(electromagnetic waves)は横波である。

電磁波の電場と磁場は、伝播の方向と直角に振動し互いにも直交している。

光の偏波を特に偏光という。

横波だから、電磁波も偏光しているか否かのいずれかである。

電磁波の偏光面はその電場の振動面と定義される。

アンテナから送信されるラジオ波は偏光しているので、受信する信号強度を最大にするには受信アンテナの方向を最適に調整する必要がある。

(最後のスライドで述べるが) 光はポラロイド (偏光板の商標) のフィルターを使うと偏光させることができる。

地震の S 波(secondary seismic wave)は横波である。

その速さは P 波より遅いが表面波より速い。S 波が通過すると物体は横揺れする。

液体中で分子は互いに横にずれたときもとに戻ろうとしないから、S 波は液体中を伝わらない。

弦の波(waves on a string or wire) は本質的に横波である。

弦の一端を固定すると、この固定端に入射する波は反射され位相を反転して戻っていく。

9. 偏光

太陽光や白熱球から出る光は偏光していない。

熱電球の光を1枚のポラロイドのフィルターを通して見たとき、光線を軸としてフィルターを回転しても明るさに変化はない。

しかし、2枚目のフィルターを光路に挿入して一方を回転すると明るさが変化する。

白熱ランプは偏光していない光を出しており、電場の振動方向が光線にそう位置によりランダムに変化する。

- ・ 第1のポラロイド・フィルターは、偏光子というが、特定の方向の偏波面の光だけを通す。

したがって、第1のフィルターを出た光は偏光している。

ポラロイドでは分子の配向方向に振動する電場が強く吸収され、配向方向と直交する偏光が透過する。

- ・ 第2のフィルターは、検光子というが、配向の向きが第1のフィルターと互いに90度するとき、光は全く透過しなくなる。

第2のフィルターの"クロス"の位置からの回転角と透過光量の関係は、サイン関数の形になる。

第2のフィルターを回転するに従い、光量は増加してから減衰にうつり、ちょうど1/2回転したとき0となる。

このとき2つのフィルターの配向はまた90度となっている。

偏光していない光に対する2枚のポラロイド・フィルターの作用を比喩的にうと次のようになるかもしれない：

- ・ 偏波していない波がロープを伝わり第1の郵便受けで偏波した波となる。
- ・ 第2の郵便受けが第1と同じ向きに限り波が完全に通過する。
- ・ 第2の郵便受けが第1のものと90度の方向なら、波は通過できない。

偏光の応用

ポラロイド・サングラス(polaroid sunglass)は太陽光の反射によるぎらつきを抑える。

水面からの反射は(入射角により完全にあるいは部分的に)偏光しているからである。

ポラロイド・サングラスがあると屋外プールの水中にいる人を見つけやすい。

なぜならポラロイド・レンズで水面からの太陽光の反射を除去できるからである。

電卓の表示器(calculator display)やPCの液晶表示装置には偏光が用いられる。

表示器は画素からできており、それぞれの画素がポラロイド・フィルターに挟まれた液晶から成る

液晶の分子は細長くスパイラル状で、直線偏光の偏光面を回すことができる。