

1. 電磁波—波としての光

図 A1-1(a)に示したように、光は、その進行方向に垂直な面の中で振動する電気（電場）と磁気（磁場）の波からなる**電磁波**であることは、高校の物理で習っている。この教科書で取り扱う範囲では波の磁場部分よりも電場成分の効果が重要となるので、以下では電場についてのみ考える。

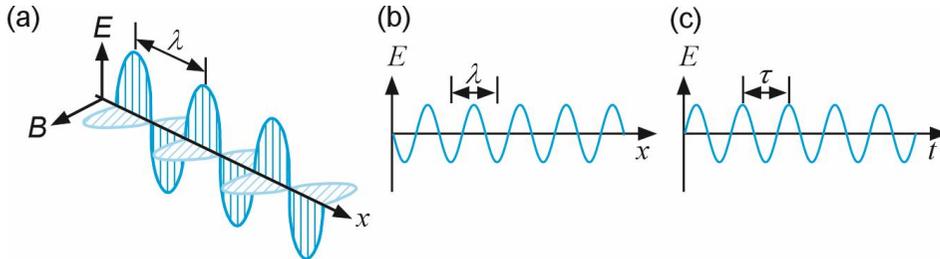


図 A1-1 (a) 電磁波としての光。E 方向の電場の波と B 方向の磁場の波からなり、x 方向へ進行する。(b) ある時刻 t における各位置 x における電場。波の 1 周期が波長 λ にあたる。(c) ある位置 x で見た正弦波の時間変化。波の 1 周期が周期 τ にあたる。

図 A1-1 を式で示すと、時刻 t 、位置 x における電場 $E(x, t)$ は、正弦波（三角関数の \sin の形）で表される。

$$E(x, t) = E_0 \sin 2\pi \left(\frac{t}{\tau} - \frac{x}{\lambda} \right) = E_0 \sin 2\pi \left(\nu t - \frac{x}{\lambda} \right) \quad (\text{A-1})$$

図 A1-1(b) は時間を $t=0$ に固定して、位置 x による電場の変化を見たものであり、

$$E(x, 0) = -E_0 \sin \left(\frac{2\pi x}{\lambda} \right) \quad (\text{A-2})$$

ここで、 λ は**波長**と呼ばれ、波の振幅の頂点から頂点までの距離を表す。

図 A1-1(c) は場所を $x=0$ に固定して、時間 t による電場の変化を見たものである。

$$E(0, t) = E_0 \sin 2\pi \left(\frac{t}{\tau} \right) = E_0 \sin 2\pi (\nu t) \quad (\text{A-3})$$

この図で τ は波の 1 周期にかかる時間（**周期**）を表している。逆に 1 秒間に何周期の波があるかを**振動数** ν とよび、周期とは逆数の関係にある ($\nu = 1/\tau$)。

2. 波の性質

この後、波の性質を用いた考察が出てくるので、ここで波の性質のいくつかを復習しておこう。既に図 A1-1 で示したように、波は正弦波で表され、波長、振幅、振動数という物理量で特徴付けられる。また、弦楽器のように両端が固定された弦が振動する場合の波を**定在波**とよぶ。固定された両端における振幅は常に 0 にならなければならないため、弦の長さ L と波長 λ の間には、

$$L = \frac{n\lambda}{2}, \quad n=1, 2, 3, \dots \quad (\text{B-1})$$

という関係が成立する。(図 B-1 参照) 振幅が最大の位置を**腹**、振動しても常に振幅が 0 の点を**節**とよぶ。定在波では n に対し、 n 個の腹と $n-1$ 個の節が存在する。これは、両端を固定したという条件 (**境界条件**とよぶ) を加えた効果であり、波には n のような整数と関係が深いことを覚えておくと、以下の議論の理解に役立つ。

この他の波の性質である、重ね合わせ、干渉、回折などを以下にまとめておく。

位相

波を表す式は

$$y(x, t) = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{\tau} - \frac{x}{\lambda} \right) \quad (\text{B-2})$$

である。sin 関数の引数 (ここでは $2\pi(t/\tau - x/\lambda)$) を波の**位相**とよぶ。右図のように、位相を π (180°) 大きくすると、全体にマイナスをかけた形になる。さらに位相を π 大きくすると、つまり最初から 2π (360°) 大きくすると、最初と同じ波形になる。特に位相が 2π (360°) または π ずれている場合をそれぞれ**同位相**、**逆位相**になっているという。

重ね合わせの原理

波の性質として、2 つ以上の波を合成すると、合成された波の振幅は元の振幅の単純な足し算になる。例えば 2 つの波

$$y_1(x, t) = A_1 \sin 2\pi \left(\frac{t}{\tau_1} - \frac{x}{\lambda_1} \right), \quad y_2(x, t) = A_2 \sin 2\pi \left(\frac{t}{\tau_2} - \frac{x}{\lambda_2} \right)$$

を合成した波は

$$y(x, t) = A_1 \sin 2\pi \left(\frac{t}{\tau_1} - \frac{x}{\lambda_1} \right) + A_2 \sin 2\pi \left(\frac{t}{\tau_2} - \frac{x}{\lambda_2} \right) \quad (\text{B.3})$$

と表される。この関係を**重ね合わせの原理**とよぶ。定在波は、振幅・周期が同

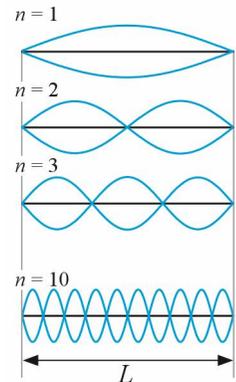
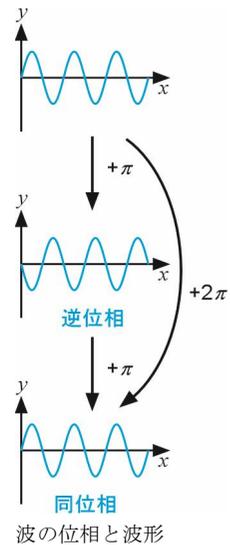


図 B-1 定在波



波の位相と波形

じで逆向きに進む二つの波の重ね合わせである。振幅・周期の異なる波を重ね合わせると、色々な形の波を合成できる。

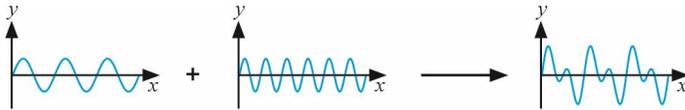


図 波の重ね合わせの例

干渉

重ね合わせの原理を反映した波の特徴が**干渉**である。同じ波長，周期の波を重ね合わせた場合，同位相の場合は振幅が増大するが，逆位相の場合は振幅が打ち消し合って小さくなる。この重ね合わせによる振幅の強め合い，弱め合いを波の**干渉**とよぶ。2つの源から来た波が重なる場合，場所によって同位相になったり逆位相になったりして，振幅の強弱が生じる。

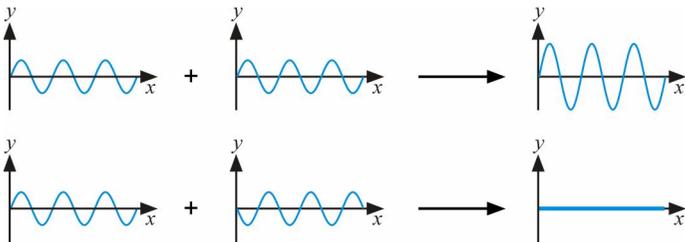


図 波の干渉

(上) 同位相の波の重ね合わせによる振幅の増大

(下) 逆位相の波の重ね合わせによる振幅の打ち消し合い

回折

波がその波長よりも小さい物体にあたった場合，その裏側まで回り込む現象を**回折**とよぶ。ビルの陰などで AM ラジオの電波 ($\lambda = 0.1 - 1 \text{ km}$) がテレビの電波 ($\lambda = 0.1 - 1 \text{ m}$) よりも受信しやすいのはこのためである。また，X線や電子線を原子，分子が並んだ結晶に照射し，個々の原子で回折された光が干渉して示す強度のパターンを解析すると，結晶内の原子配列や分子の構造，配列を調べることができる。