

電磁波の周波数、波長、エネルギー 物質の大きさとの相対比較

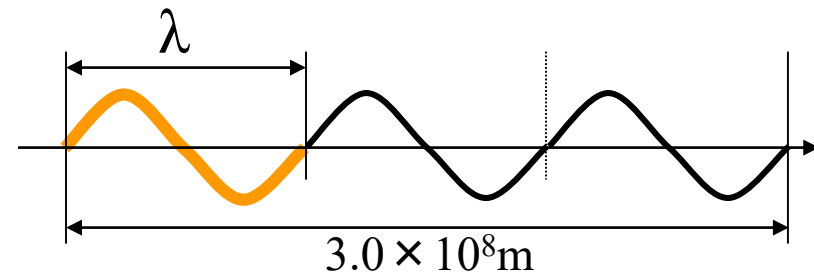
顎顔面放射線学分野

西山秀昌

歯学部学生・講義資料

(光子)エネルギーとしての電磁波

$$E = h\nu = h \frac{\omega}{2\pi} = h \frac{c}{\lambda} \quad (= \hbar\omega)$$



- h: プランク定数
- ν : 電磁波の周波数・振動数
- ω : 電磁波の角周波数
- c: 光速 (電磁波の伝播速度)
- λ : 電磁波の波長
- 真空中の光速: 秒速30万km
- \hbar : ディラック定数 (hを 2π で割ったもの)
- 「電磁波のエネルギーを吸収する・共鳴する」とは、概略として波長と対象物の大きさがほぼ同じ(吸収)か、ほぼ同じ振動数(周波数)を有している(共鳴)かのどちらかになると考えていい。

$$\begin{aligned} \text{Ex. } \nu &= 3.0 \text{ Hz (1/sec)} \\ c &= 3.0 \times 10^8 \text{ m/sec} \\ \lambda &= c/\nu = 1.0 \times 10^8 \text{ m} \end{aligned}$$

電磁波の周波数、波長、エネルギー

名称	周波数		波長(長 → 短)			光子エネルギー(弱 → 強)		生体での大きさ ないし周波数	自然界での現象、利用目的など
	Hz		指数表記(m)			eV			
電波	極超長波(ELF)	1 ~ 30	30万km ~ 1万km	$10^8 \sim 10^7$	$\sim 10^{-13}$	脳波	シューマン共振		
	SLF	30 ~ 300	1万km ~ 1000km	$10^7 \sim 10^6$	$10^{-13} \sim 10^{-12}$	1peV	50~60Hz: 商用周波数		
	ULF	300 ~ 3k	1000km ~ 100km	$10^6 \sim 10^5$	$10^{-12} \sim 10^{-11}$		※以下の電波の波長はアンテナの大きさとほぼ同じ~4倍以内。		
	超長波(VLF)	3k ~ 30k	100km ~ 10km	$10^5 \sim 10^4$	$10^{-11} \sim 10^{-10}$		標準電波、対潜水艦通信(水中での減衰が少ない)		
	長波(LF)	30k ~ 300k	10km ~ 1km	$10^4 \sim 10^3$	$10^{-10} \sim 10^{-9}$	1neV	電波時計、航空・海上の無線標識局		
	中波(MF)	300k ~ 3M	1km ~ 100m	$10^3 \sim 10^2$	$10^{-9} \sim 10^{-8}$		中波ラジオ(アンテナはコイルを用いるので小さい)		
	短波(HF)	3M ~ 30M	100m ~ 10m	$10^2 \sim 10$	$10^{-8} \sim 10^{-7}$		短波ラジオ、アマチュア無線(大きなアンテナ)、 トランシーバー		
	超短波(VHF)	30M ~ 300M	10m ~ 1m	10 ~ 1	$10^{-7} \sim 10^{-6}$	1μeV	体長(1~2m) FMラジオ、地上アナログテレビ、MRIのRFパルス		
マイクロ波	極超短波(UHF)	300M ~ 3G	1m ~ 10cm	1 ~ 10^{-1}	$10^{-6} \sim 10^{-5}$	頭部、大きな臓器(数10cm)	携帯電話、PHS、UHFテレビ、地上デジタルテレビ GPS、電子レンジ、無線LAN		
	センチ波(SHF)	3G ~ 30G	10cm ~ 1cm	$10^{-1} \sim 10^{-2}$	$10^{-5} \sim 10^{-4}$	組織、小さな臓器	衛星テレビ(BS,CS)、無線LAN		
	ミリ波(EHF)	30G ~ 300G	1cm ~ 1mm	$10^{-2} \sim 10^{-3}$	$10^{-4} \sim 10^{-3}$	1meV	レーダー、衛星通信		
	サブミリ波	300G ~ 3T	1mm ~ 100μm	$10^{-3} \sim 10^{-4}$	$10^{-3} \sim 10^{-2}$	組織	電波天文台 光と電波の中間領域、日本の電波法では3THz以下が電波		
赤外線	遠赤外線	3T~3000T $3 \times 10^{12} \sim 3 \times 10^{15}$	100μm ~ 15μm	$10^{-4} \sim 10^{-5}$	$10^{-2} \sim 1eV$	細胞・毛細血管	分子の回転、振動のエネルギー差程度		
	中赤外線		15μm ~ 2.5μm	$10^{-5} \sim 10^{-6}$		赤血球・細胞			
	近赤外線		2.5μm ~ 0.77μm	$10^{-6} \sim 10^{-7}$					
可視光線	赤	10 ¹⁵ 程度	0.77μm ~ 0.64μm	10 ⁻⁷ m程度	1.6~3.2eV程度	細胞内小器官	分子の化学結合のエネルギー程度。 レチナールを含むロドプシン等の蛋白質の吸収スペクトル 蛋白質の大きさは一桁ほど小さい。 エネルギーとしては、乾電池1本から2本(1.5Vから3V)程度で 電子1個に運動エネルギーを与える程度に相当する。		
	橙		0.64μm ~ 0.59μm						
	黄		0.59μm ~ 0.55μm						
	緑		0.55μm ~ 0.49μm						
	青		0.49μm ~ 0.43μm						
紫	0.43μm ~ 0.38μm								
紫外線	近紫外線	10 ¹⁵ 程度	380nm ~ 200nm	10 ⁻⁷ m程度	3.2~4.4eV程度		DNAの吸収スペクトル(250nm付近)		
	遠紫外線 真空紫外線	$3 \times 10^{15} \sim 3 \times 10^{16}$	200nm ~ 10nm	$10^{-7} \sim 10^{-8}$	10 ~ 10 ²	細胞膜蛋白質	遠紫外線と軟X線とは移行的で、厳密には区別困難。		
	X線	軟X線	$3 \times 10^{16} \sim 3 \times 10^{17}$	10nm ~ 1nm	$10^{-8} \sim 10^{-9}$	$10^2 \sim 10^3$	1keV	DNA,RNA	
ガンマ線			$3 \times 10^{17} \sim 3 \times 10^{18}$	1nm ~ 1Å	$10^{-9} \sim 10^{-10}$	$10^3 \sim 10^4$		原子	
			$3 \times 10^{18} \sim 3 \times 10^{19}$	1Å ~ 0.1Å	$10^{-10} \sim 10^{-11}$	$10^4 \sim 10^5$		診断用のX線	
		0.1~0.01 Å以下	$3 \times 10^{19} \sim 3 \times 10^{20}$	0.1Å ~ 1pm	$10^{-11} \sim 10^{-12}$	$10^5 \sim 10^6$	1MeV		電子対生成(>1.022MeV)、光核反応
			$3 \times 10^{20} \sim 3 \times 10^{21}$	1pm ~ 100fm	$10^{-12} \sim 10^{-13}$	$10^6 \sim 10^7$			光核反応(速中性子)
			$3 \times 10^{21} \sim 3 \times 10^{22}$	100fm ~ 10fm	$10^{-13} \sim 10^{-14}$	$10^7 \sim 10^8$			光核反応(中間子発生)
	$3 \times 10^{22} \sim 3 \times 10^{23}$	10fm ~ 1fm	$10^{-14} \sim 10^{-15}$	$10^8 \sim 10^9$	1GeV	原子核			

k: キロ、10³
M: メガ、10⁶
G: ギガ、10⁹

T: テラ、10¹²
P: ペタ、10¹⁵
E: エクサ、10¹⁸

μ: マイクロ、10⁻⁶
n: ナノ、10⁻⁹

1 Å=0.1nm=100pm
p: ピコ、10⁻¹²
f: フェムト、10⁻¹⁵

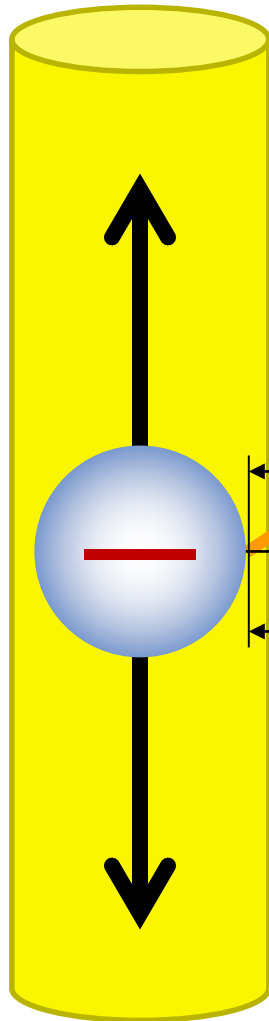
1eV=1.602 × 10⁻¹⁹[J]
h=6.626 × 10⁻³⁴[J・s]
c=299792458[m/s]

Å: オングストローム、10⁻¹⁰m

補遺：波長が物質の大きさと一致しない場合の例・その1

- MRIのラーモア歳差運動
 - 対象：水素原子核（のスピ^ン）
 - 対象の大きさ：水素原子核（陽子）とすれば約 $1.6\text{fm}=1.6 \times 10^{-15}\text{m}$ （荷電半径 $\times 2$ の場合）
 - 周波数：静磁場強度に比例し、1T（テスラ）で 42.58MHz
 - 波長：約7m（1Tの場合）
 - 古典的には磁石の歳差運動＝磁場の周期的な変化に相当

補遺：波長が物質の大きさと一致しない場合について・その1



電荷(+、-)ないし磁石(磁気双極子)の振動が引き起こす電磁波の場合、振動している物質(電子、陽子など)の大きさや、それらを含む物質の大きさではなく、振動する周波数にて電磁波の波長が決定される。

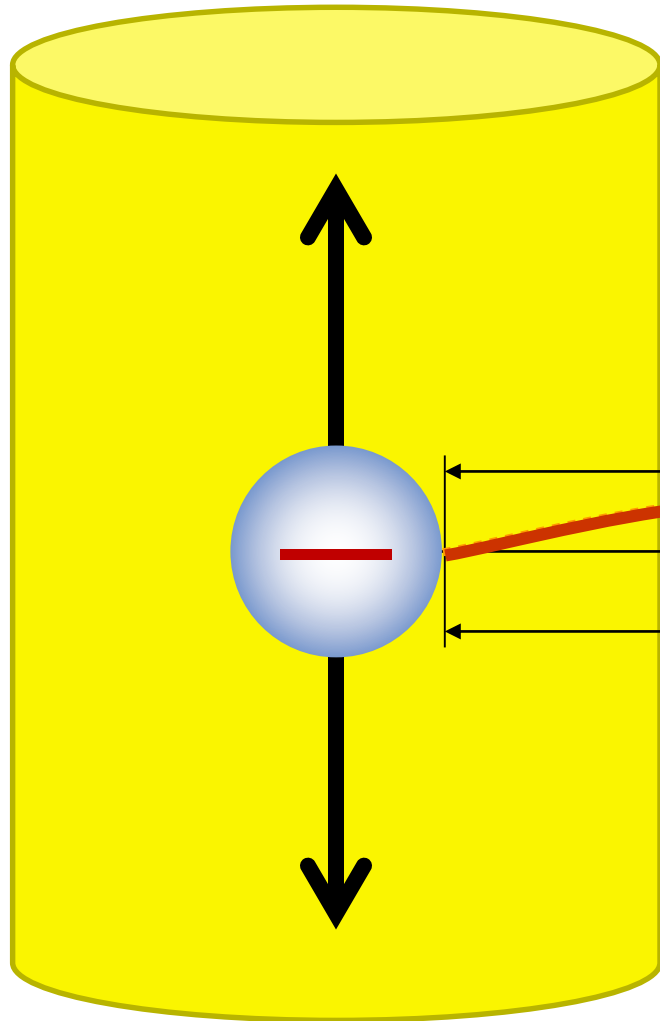
電磁波としての到達範囲と波長は異なる。
例えば、携帯電話の波長が到達範囲だとすれば、誰も通話できないことになる。
到達範囲には出力としてのエネルギー(光子エネルギーとは異なる)が関与する。

補遺：波長が物質の大きさと一致しない場合の例・その2

- 脳波の場合

- 対象：脳実質（ないしニューロン）
- 対象の大きさ：20cm程度（ないし数10 μ m）
- 周波数：約0.5Hz～30Hz
- 電磁波相当とした場合の波長：約1万～60万km
- 部位毎の電位の変化で、脳表層で僅かにとらえられる程度の強さ。電磁誘導を利用して脳磁図として計測することも可能だが、脳表層近傍でしか計測できない程度の強さ。

補遺：波長が物質の大きさと一致しない場合について・その2



電荷(+、-)ないし磁石(磁気双極子)の振動が引き起こす電磁波の場合、振動している物質(電子、陽子など)の大きさや、それらを含む物質の大きさではなく、振動する周波数にて電磁波の波長が決定される。

λ

例えば脳波の場合、起電力自体が微小なので、電磁誘導にて発生し得る磁場も脳磁図にてかろうじて捉えられる程度でしかなく、電磁波が発生したとしても、その程度の範囲でしかない。

波長が数万キロとして計算されたとしても、到達距離は非常に短いので注意！！