

マンガで
楽しむ!!

ラカ
ラカ

電波と レーダ

著：中司浩生

画：ユニバーサル・パブリッシング



まえがき

電波は、放送や無線通信では勿論、携帯電話、カーナビゲーションなどで情報の媒体（運び屋）として、また電子レンジなどでエネルギーの供給源として広く利用されていますが、その一方で遠方の物体で反射し、その一部が戻ってくる性質を利用し、物体の探知、位置測定にも利用されています。それは、電波が一定の速さで空間を伝わって行くので、遠方の物体で反射して戻ってくるまでの往復時間と、反射波の到来方向から、その物体の距離と方位を知ることができるからです。このような目的に使われる電子装置はレーダ（Radar : Radio Detection and Ranging）と呼ばれていますが、これも用途に応じていろいろな種類のものが開発され、実用に供されています。たとえば、代表的なものとして、航空機の探知や誘導に用いられる搜索レーダや航空管制用レーダ、空港面監視のための高分解能レーダ、気象現象の探知、予報のための気象レーダ、宇宙開発や防衛システムに用いられるロケットや航空機の追尾レーダ、リモートセンシングのための合成開口レーダなどがあります。そして、信号処理を主とする技術の進歩にともなって、これらのレーダは多様な形に進化しています。

本書は、まず、電波の性質や働きを、次にそれを利用したレーダの基本的な動作原理をマンガをまじえて分かりやすく解説したものです。読者のみなさんは、マンガの登場人物と一緒に学び、考えることにより、楽しみながら、電波とレーダについて理解を深めることができるものと信じています。

本書の出版にあたり、作画ならびに制作を担当されたユニバーサル・パブリシングのスタッフの方々に深く感謝致します。また、本書の執筆を勧めて下さった（株）一灯舎の平野皓正様にお礼を申し上げます。なお、一灯舎編集制作部の野崎洋様には資料の収集、原稿の作成について、ご協力をいただきました。ここに改めて感謝申し上げます。

2009年10月
中司浩生



もくじ

まえがき	iii
プロローグ	1
登場人物紹介	10
第1章 電波とは	11
1.1 電界	31
1.2 磁界	32
1.3 電磁界とベクトル場	36
参考文献	42
第2章 私たちの暮らしと電波	43
2.1 電波の利用	57
2.2 電波で情報を送る	57
2.3 レーダ	61
2.4 携帯電話	61
2.5 GPS	63
2.6 ワンセグ放送	63
2.7 電波時計	64
2.8 電波を送受信する装置：アンテナ	64
参考文献	73
コラム 単位の接頭語	74
第3章 電波の伝わり方	75
3.1 空間を伝わる波：何が伝わっているのか	82
3.2 波特有の現象と電波の伝わり方	83
3.3 導体を伝わる電磁界の波	88
3.4 屈折，透過，反射の一般論	90

3.5	アンテナから放射される電波	94
3.6	金属や水に侵入した電波の振舞い	95
	参考文献	98
第4章	電波と法規制	99
4.1	局免許不要の無線局	106
4.2	技適マーク	107
	参考文献	108
第5章	レーダ	109
	コラム GPS衛星のしくみ	120
5.1	電波とレーダ	128
5.2	レーダ方程式とレーダの基本構成	132
5.3	搜索レーダ	140
5.4	高分解能レーダ	145
5.5	気象レーダ	148
5.6	合成開口レーダ	155
	参考文献	160
第6章	追尾レーダにおける測角，測距方式	161
6.1	概要	174
6.2	測角方式	174
6.3	測距方式	177
	参考文献	177
	コラム レードーム（レーダドーム）	184
第7章	電波・レーダの新しい利用	185
	コラム 人工衛星の高度	195
7.1	宇宙太陽光発電	198
7.2	人工衛星からの電波・レーダ観測	198
7.3	電波望遠鏡	202
7.4	人工衛星を用いた電波望遠鏡	205
7.5	大気を測定するレーダ	206
7.6	地中を観測するレーダ	207
	参考文献	208
	索引	209

7.00-2



てきまつ



…とりあえず
他にケガは
ないみたいだな…



それにしても
何だこの服は…
髪の毛もピンク色だし…



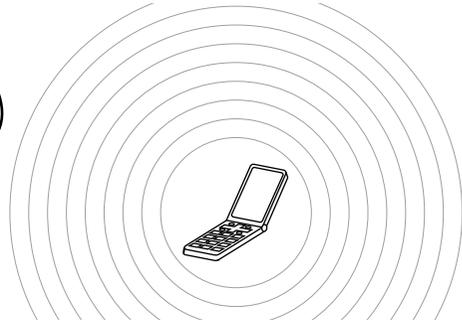
女性免疫ゼロ



気がついたかっ
ごめんっ
大丈夫か!?



電波とは



さっき言った電磁波というのが「電界と磁界とが同時に存在し一定の関係を保ちつつ増減（振幅変動）を繰り返しながら進む波動」であることはわかったわ。



そう。電磁波は、宇宙空間にも当たり前にあるけど、見れないし、触れないし、耳で聞くことができないエネルギーの一種なんだ。「光」や「X線」、「 γ 線」もこれの一種だな。電磁波を周波数ごとに分類すると、次のページの図のようになる。確かに光は見えるけど、「電界と磁界が振動している」ようには見えない。



なるほど。電界、磁界が進行方向に垂直な面内で振動しながらエネルギーを次々と伝える「横波」が電磁波かー。



ちなみに、空気を揺らして進む音波も「波」の仲間だけど、これは「縦波」で、伝わる速度、いわゆる音速は秒速約 331.5 m。一方、電磁波はその一種である光の速度(光速)で伝わるんだ。したがって、秒速約 30 万 km。地球を 1 秒間で 7 周半するんだよ。



では、いよいよ電磁波の一種「電波」だ。これに、我々人類はさまざまな情報をのせて、通信、治療、産業に役立てているんだよ。つまり「電波」とは、ふつう「3000GHzより低い周波数の電磁波」のことを言ってるんだ。



周波数？ $\text{G}^{\text{H}}\text{z}$ ギガヘルツ？



あっそうか。周波数の単位のこと、まだ言ってなかったっけ。周波数は波が1秒間に振動する回数で、振動数ともいう。ギガヘルツはその周波数を表す単位のひとつなんだ。例えば距離を表すのに1000m（メートル）とか1 km（キロメートル）というみたいに。



ふ〜ん。私たちの星では、なじみがないものだわ。



波には、周期があるよな。ゆっくり変化する波は長い周期、速く変化する波は短い周期。なの

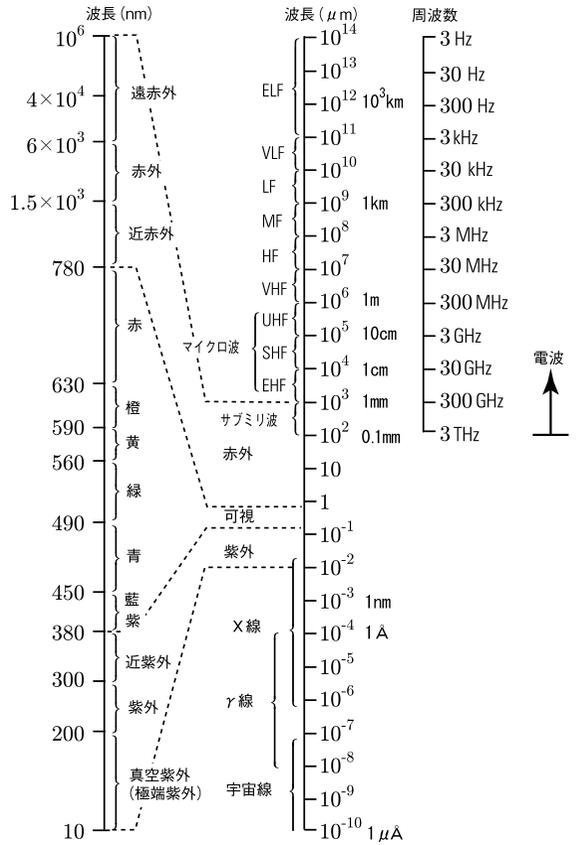
で、この周期を1秒間という時間で区切って計算したものが周波数、つまり1秒間に何回振動を繰り返したかを表す数字のことで、単位はHz（ヘルツ）を使っているのさ。



あれ……でも、さっき GHz って言ったわよね。



1 KHz（キロヘルツ）は $1000\text{Hz} = 10^3 \text{ Hz}$
 1 MHz（メガヘルツ）は $1000\text{KHz} = 10^6 \text{ Hz}$
 1 GHz（ギガヘルツ）は $1000\text{MHz} = 10^9 \text{ Hz}$
 1 THz（テラヘルツ）は $1000\text{GHz} = 10^{12} \text{ Hz}$
 というかんじだ。この「メガ」とか「ギガ」は周波数以外にも使われているんだ。



第1章 電波とは

解説

1.1 電界

1.1.1 電界とは

電荷を持ったものの周りには電界が生じます。しかし、電界は目には見えません。では電界が実際に存在するかどうかを知るにはどうすればよいのでしょうか。電荷を持つものを持ってきて、その電荷が何らかの力を空間から受ければ、そこには電界が存在すると言えます。こう考えると、電界というのは次のように定義できます。「電界とは、電荷に力を及ぼすような性質を持った空間である。」

電界の様子は、通常「電気力線」で表します。電気力線については、後の節でももう少し詳しく説明します。簡単に説明すると、電気力線は、電界の方向が接線になるような曲線です（図 1.1）。また、電界が強いところでは電気力線の密度が高くなります。単位電荷が形成する電気力線は、その単位電荷を中心とした放射状になります（図 1.2）。

ところで、電界は、「電場」とも言います。どちらも同じものを指していますが、なんとなくニュアンスが異なるようです。一般に、物理系統の人は「電場」を、工学系統の人は「電界」を好むようです。この後に出てくる磁界も同様です。しかし、電界と磁界が一緒になった場合は、「電磁界」とはあまり言わず、「電磁場」と言うことが多いようです。

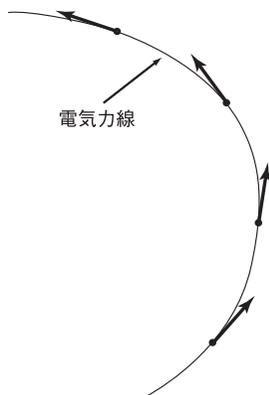


図 1.1 電気力線

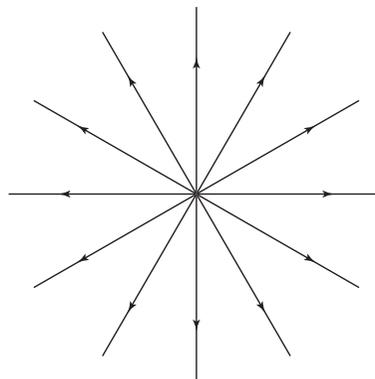


図 1.2 点電荷が形成する電気力線

1.1.2 クーロンの法則

クーロン (C. A. de Coulomb) は、電荷の間に働く力を測定し、1785年にクーロンの法則を見出しました。

真空中に距離 r を隔てて存在する2つの点電荷 Q_1, Q_2 の間に働く力に対しては、クーロンの法則は次のようになります。

- (1) 2つの電荷 Q_1, Q_2 の符号が同じ場合は、互いの電荷には反発する力 \mathbf{F} が働く。互いの電荷が異なる場合は、引き合う力が働く。また、その力の方向は、2つの点電荷を結ぶ直線と一致する。
- (2) 2つの点電荷の間に働く力の強さは、電荷間の距離 r の2乗に反比例する。

これらを数式で表すと次のようになります。

$$\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \frac{\mathbf{r}}{r} \quad [\text{N}] \quad (1.1)$$

ここで、右辺の最後にある $\frac{\mathbf{r}}{r}$ は、それぞれの電荷を結ぶ直線と平行な、長さ1のベクトル (単位ベクトル) です。また、この式において、順番を入れ替えると次のようになります。

$$\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1}{r^2} \frac{\mathbf{r}}{r} \cdot Q_2 \quad [\text{N}] \quad (1.2)$$

$$= \mathbf{E}_{Q_1} \cdot Q_2 \quad [\text{N}] \quad (1.3)$$

この式と、電界の定義を比べてみると、点電荷 Q_2 が存在する場所における電界は \mathbf{E}_{Q_1} であることがわかります。別の見方をすると、 $\mathbf{E}_{Q_1} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1}{r^2} \frac{\mathbf{r}}{r}$ は、「点電荷 Q_1 の形成する電界」と言うこともできます。図 1.3 は、 \mathbf{E}_{Q_1} を表したものです。矢印の長さは電界の強さ (単位電荷の受ける力) を示しており、中心からの距離の2乗に反比例します。中心の電荷 (Q) が同じであれば電気力線の数は一定ですが、球面の面積は電荷からの距離を r とすると $4\pi r^2$ で増加するので、結果として、電気力線の密度は、 $\frac{Q}{4\pi r^2}$ に比例することになります。

1.2 磁界

1.2.1 磁界とは

磁界は電界ほど単純ではありません。磁石の近くに別の磁石を持ってくると、その磁石は力を受けます。また、磁石の周りに砂鉄を置くと模様形成されます。このことから、磁石の周りには何か特別な性質を持った空間が形成されていることがわかります。これを磁界と言います。一方で、電流が流れている電線の近くに磁石を近づけるとその磁石が力を受けることから、電流 (移動する電荷) の周りにも磁界が存在することがわかります。さらに、磁界の中で静止した電荷は磁界からは力を受けませんが、運動をすると力を受けるようになります。しかもその力の向きは、運動の方向に対して直角な方向です。