

1-1

「電界」にかかわる重要な用語 — 「電荷」, 「電界」そして「電界強度」

アマチュア無線の基礎というより、電気の基礎ともいうべき重要な用語を復習します。

無線の世界では高周波という交流がベースになるのですが、基礎となるのは静電界の電荷や電界ですから、まず電荷について考えます。

モノを摩擦して発生する摩擦電気のように、モノが電気を帯びた状態を「帯電」と呼びます。

表1-1は、摩擦するものどうしのどちらが(+), どちらが(-)に帯電するか、その序列をまとめたものです。摩擦によって、電子の一部が表の左側にある物質から右側にある物質に移動するため、電子が不足した左側の物質は(+), 電子が過剰になった右側の物質は(-)に帯電するのです。

このように電子が不足するので(+)とか、過剰になるから(-)というのは、煩雑なので、毎回電子を持ち出す代わりに、帯電とは目には見えない小さな電気「電荷」がその物体に乗り移ったものと考えます。つまり摩擦したときの帯電は、もともと帯電していなかったものどうしが摩擦された結果、同量の(+)と(-)の電荷が分離発生して、別れて乗り移ったものと考えます。

電荷の持つ電気量の大きさはクーロン [C] で表します。1秒間に1 [C] の電荷が流れるときの電流は1 [A] と定義されます。

電荷には, (+)と(-)とがあり, (+)と(-)とは互いに引き合い, (+)と(+), (-)と(-)とは反発しあうことがよく知られています。その力の大きさはそれぞれ双方の電気量の大きさ(クーロン)に比例します。これが有名な静電気に関するクーロンの法則です(図1-1)。

ガラスや紙の上に砂鉄を置いて下から磁石をあて、磁極のNからSに向けて磁力線の模様を作って観察

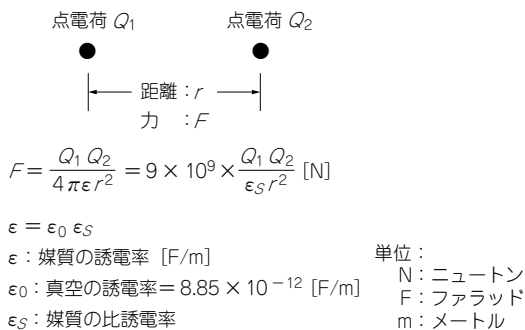


図1-1 静電気に関するクーロンの法則

表1-1 摩擦電気の系列

この中の2種類の物質をこすり合わせるとおおむね左側のが(+)となり、右側のが(-)となる。離れたものどうしの場合ほど電気は強烈になる。順序は絶対的なものではなく、個々の場合によって異なることがある。この系列は電気学会の「電気磁気学」に従った

見本

毛皮	ガラス	雲母	絹	綿糸	木	コハク	樹脂	金属	硫黄
(+) (-)									

した経験があると思いますが(写真1-1), 電荷についても磁力線と同じように仮想上の電気力線を考えることができます。

余談になりますが, 磁力線の実験にはわざわざ「砂鉄」を探し求める必要はありません。

使用済みの「使い捨てカイロ」には鉄粉がタププリ入っているので, これを利用しましょう。

さて, 図1-2は, (+)の電荷から(-)の電荷に向けて電気力線が出ていくようすを示したものです。写真1-1と同じパターンです。図1-2では電気力線の数も定義していますが, これからの展開に直接必要なものではありません。なお, 電磁気学ではいろいろな物理量を定義しているので, 本節の終わりに整理することにします。

電気力線の途中で別の電荷を持ってくると, 力を受けてその接線の方向に動こうとします。このように, 電荷が影響を受ける「場」のことを「電場」とか「電界」といいます。どんな方向にどんな力を受けるのかを表す言葉を「電界強度」といいます。

「電界強度」 E は, その電界に1 [C] の電荷を持ってきたとき, その電荷に働く力の強さをいいます。図1-1のクーロンの法則で, 力(ニュートン)をもう一方の電荷 $q_2 = 1$ [C] で割ればよいのです。すなわち電界強度 E は,

$$E = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0 r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{Q_1}{\epsilon_0 r^2}$$

E の単位は, 力の単位(ニュートン [N])を電荷の単位 [C] で割ったものとなり,

$$\begin{aligned} \frac{\text{ニュートン}}{\text{クーロン}} &= \frac{\text{ニュートン} \cdot \text{m}}{\text{クーロン} \cdot \text{m}} \\ &= \frac{\text{ジュール}}{\text{クーロン} \cdot \text{m}} = \frac{\text{ワット} \cdot \text{秒}}{\text{アンペア} \cdot \text{秒} \cdot \text{m}} = \frac{\text{ボルト}}{\text{m}} \end{aligned}$$

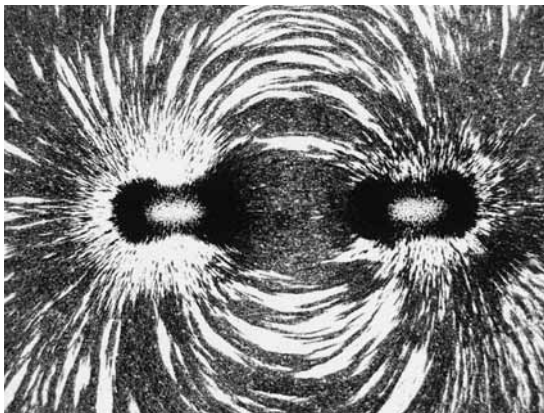
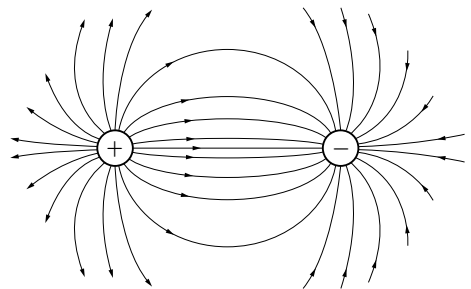


写真1-1 砂鉄による磁力線の観察

白紙の上に砂鉄をバラまいて, 下からU字型の磁石をあてて, 磁力線の様子を観察したものを撮ったもの。黒い部分は磁力線が密集しているところ。黒い中で二つの白いシマがあるところが磁極



- ・電気力線は正電荷に始まり負電荷に終わる
- ・単位電荷には, $1/\epsilon_0$ 本の電気力線が出入りする

図1-2 電気力線のようす

物理量(記号)	意味	定義されている内容
電荷(Q)	物体のもっている電気量の本質 (目に見えない小さな電気の実体)	単位:クーロン, [C] クーロン [C] = アンペア [A] × 秒 [s]
電磁力線	電界中に仮想した, 接線方向が電界の方向と一致するような線	真空中では単位電荷からは $1/\epsilon_0$ 本の電磁力線が出る
電束(ψ)	電荷から出る電磁力線の束	単位:クーロン, [C] Q [C]の電荷からは Q [C]の電束が出る
電束密度(D)	単位面積あたりの電束	単位:クーロン/(メートル) ² , [C/m ²] $D = \epsilon_0 \epsilon_S E$ (Eは電界強度)
電界強度(E)	電界の強さ	単位:ボルト/メートル [V/m] r [m] 離れた Q [C]の電界強度は $E = \frac{Q}{4 \pi \epsilon r^2} = \frac{Q}{4 \pi \epsilon_0 \epsilon_S r^2}$ D 真空 = $\epsilon_0 E$ 真空

表1-2
電磁気学に出てくる電気系の
主要な用語

となります。式を一つずつ左から右に移動しながら考えれば納得できると思いますが、高校の物理程度の知識が必要です。

結論として、電界強度Eの単位は [N/C] か、[V/m] ということになります。

通常は [V/m] ですが、この式でわかるように、電界強度は単位距離間の電位の変化を意味します。電圧/距離というこの奇妙な単位を理解できたでしょうか。

ひとこと付け加えますと、電界強度と兄弟のように使われる言葉として「電束密度」という言葉があります。Q [C] の電荷からはQ [C] の電気のタバ(電束)が出ており、(+)から出て(-)に終わると定義されます。このタバが密であればあるほど電界は強いことになります。密かどうかは単位面積中の電束で表現すればよく、これを「電束密度」Dと呼んでいます。単位は [C/m²] です。

電界強度Eと電束密度Dとの兄弟分としての関係は

$$D = \epsilon E = \epsilon_0 \epsilon_S E$$

です。ε, ε₀, ε_Sは図1-1を参照してください。

さて、この節では、電界にかかわる重要な用語、「電荷」、「電界」および「電界強度」を重点的に解説しましたが、関連のある用語も紹介したため、それらの定義について若干混乱を招いた恐れがあります。これらを表1-2に整理しました。

1-2 空間に流れる電流 — 「変位電流」

耳慣れない言葉ですが、変位電流はアンテナのルーツとなる重要な用語です

アンテナの原理には、大きなコイルで作られたループ・アンテナと、2本の針金に代表されるダイポール・アンテナとの二つの源流があります(図1-3)。

形状からループ・アンテナと呼ばれることもあるクワッド型のアンテナもありますが、基本的には別のものです。これについては第3章でとりあげます。

見本電流を流せば周囲に磁界が発生することは、アンペールの法則としてよく知られています。では磁界が発生したあとはどうなるのでしょうか。

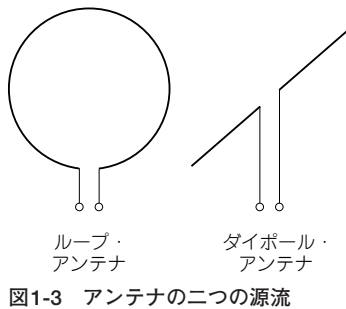
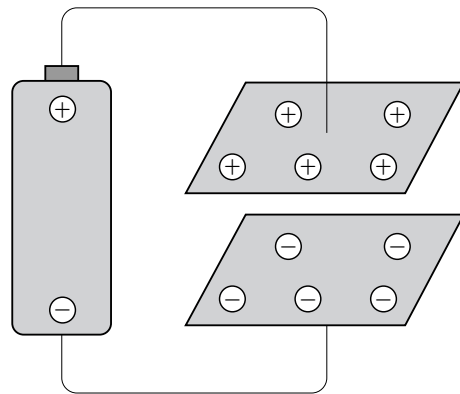


図1-3 アンテナの二つの源流



- ・上の極板には(+)の電荷がたまる
- ・下の極板には等量の(-)の電荷がたまる
- ・量的な関係は以下のとおり

$$Q = CV$$

ただし Q : 極板にたまる電荷 [C]

C : コンデンサの静電容量 [F]

V : 加えられた電圧 [V]

図1-4 コンデンサに電圧を加える

もう一つ、ダイポール・アンテナと呼ばれる2本の針金に交流電圧を加えたら、なぜ電流が流れて電波が出るのでしょうか。

この二つの疑問に対する答えは「空間に電流が流れる」と考えることでスッキリします。

なぜ電流は電線でもない空間に流れるのかは、変位電流という言葉で説明されます。

図1-4は、4アマ、3アマの教科書でもおなじみの、コンデンサのしくみを表す図です。

コンデンサは基本的に2枚の極板を向かい合わせた構造になっており、これに直流電圧を加えると、電源の(+)側につながれた極板には(+)の電荷がたまり、反対側の極板には同じ量の(-)の電荷がたまります。たまった電荷は放っておけば、たまったままの状態を続けますが、極板の間を導線でつないでやれば(+)と(-)の電荷が会って中和され、たまっていた電荷が空になります。この状態をスイッチで次々に実現させたものが図1-5(次ページ)です。

電池の記号は、直流電源を意味します。また、電流計の記号は電流の向きがわかる目的でつないであります。スイッチSWを1, 2, 3と順番に切り替えると図1-5(a)→(b)→(c)のように、充電、蓄電保持、放電の状態に切り替わります。このとき図(a)では電流が右向きに流れ、図(b)では流れず、図(c)で電流が左向きに流れます。

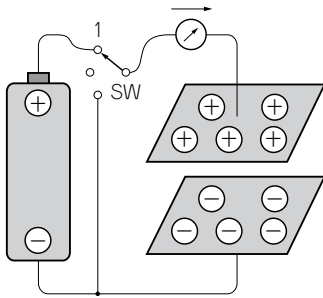
このスイッチ操作を素早く繰り返して行えば、電流が右向きに流れたり左向きに流れたりしますが、図1-6(次ページ)に示すようにコンデンサに交流を加えても同じことです。

すなわち、よくご存じのようにコンデンサは交流を流すのです。

見本

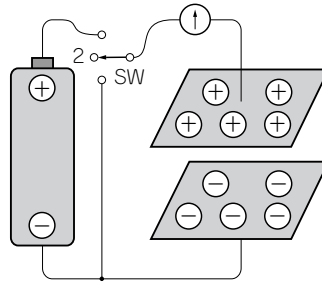
図1-7(15ページ)に示すように、興味をコンデンサの極板の間に注いでみましょう。

説明にもあるように、電流計には電流が流れるのに、極板から先には電流が流れなくなるというのは不



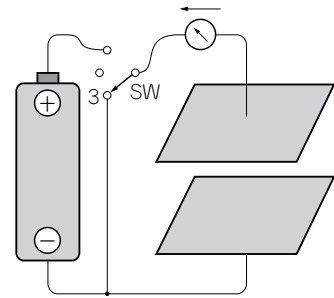
コンデンサに充電電流が流れ込んで上の極板に(+)の電荷が、下の極板に(-)の電荷が蓄えられる。充電中は電流の向きは→である

(a) スイッチSWが“1”のとき



コンデンサに充電も放電も行われず上の極板に(+)の電荷が、下の極板に(-)の電荷が蓄えられたまま電流は流れない

(b) スイッチSWが“2”のとき



コンデンサは短絡されて放電電流が流れ、上の極板も下の極板も電荷がなくなる。放電中は電流の向きは←である

(c) スイッチSWが“3”のとき

図1-5 コンデンサの充放電

コンデンサに直流電圧を加えたり、ショートさせたりしたとき、電荷が蓄えられたり放電したりして、電流が右行、左行を繰り返す

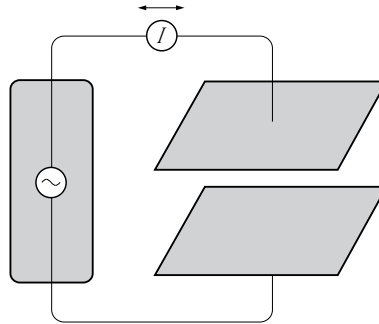


図1-6 コンデンサに交流電圧を加える

- ・図1-5でスイッチをガチャガチャ切り替えた状態を交流電圧を加えることによって実現した
- ・電流はリアクタンスに応じて左右に流れる

可解千万です。回路的に考えても電線および極板と、空間とは直列になっています。したがって、電線に流れる電流と同じ電流が空間にも流れると考えざるを得ません。

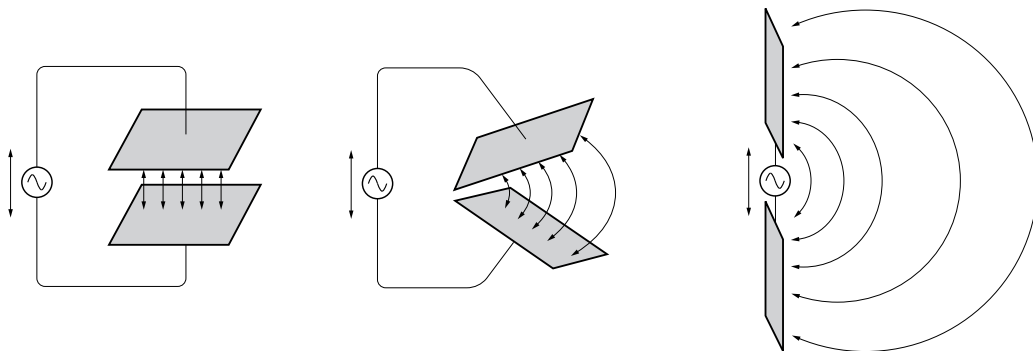
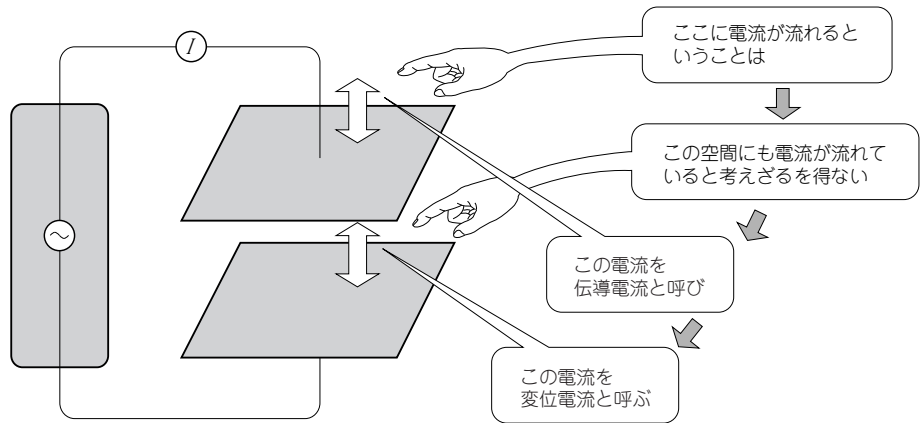
その理論的な説明は「変位電流」という言葉でなされます。それによれば、変位電流はまたの名を電束電流ともいい、単時間あたりの電荷の変化($\Delta Q/\Delta t$)で表されますが、先にも出てきたように、クーロン＝アンペア・秒ですから、 $\Delta Q/\Delta t$ の単位はアンペアで、それはとりも直さず、空間に流れる全変位電流であり、導線を通して流れてきた電流(＝伝導電流)と同じ値であることになります。この考えはマクスウェルによって確立されたものです。

空間にも電流が流れるという結論だけ覚えてしまえば、**変位電流**という言葉を知っておく必要もないのですが、理論上はこのような名前で説明されていることを承知しておきましょう。しかもこの電流は、その**見本**に境界を生じるなど、導線を通る伝導電流と同じような性質を持っています。

つまり電流は、磁力線と同じように電線であろうが空間であろうがお構いなしに流れ、流れた電流は磁

図1-7 変位電流

変位電流には伝導電流と同じように、その周囲に磁界を生じるなどの性質がある



コンデンサの中にエネルギーが閉じ込められている。電源から見たコンデンサは純リアクタンスになっており電力の消費はない。

(a) 平板コンデンサ

閉じ込められていたエネルギーが外に出てくる。コンデンサのインピーダンスに抵抗分が発生する。

(b) 極板を開く

極板を全開すると、コンデンサの極板がダイポールとして働くようになる。エネルギーがすべて外に向かって出る。ダイポールを調整することによりインピーダンスをほとんど純抵抗にすることが可能。

(c) ダイポール・アンテナとなる

図1-8 コンデンサの極板を開いていく(変位電流のようす)

界を発生し、磁界はまた新たな電流を発生するのです。

この節の冒頭に述べた、「コイルに電流を流して発生した磁界の先はどうなるのか」とか「ダイポール・アンテナと呼ばれる2本の針金に交流電圧を加えたらなぜ電流が流れて電波が出るのか」といった疑問はこう考えることによってスッキリするでしょう。

さて、図1-8を考えてみます。

図1-8(a)は、図1-6や図1-7と同じものです。変位電流はなんら仕事をすることなく、純リアクタンスであるコンデンサの中に閉じ込められた形で、ひたすら流れています。

図1-8(b)のようにコンデンサの極板を少しずつ開いていくと、変位電流は極板から離れた空間にまで広がっていきます。図1-8(c)の状態にまで開くと、この極板はまさにダイポール・アンテナの状態になります。ここで、**見本**とまでくると、変位電流は空間に広がって流れ、空間に広範囲な電界を作り出します。この空間に電流を消費するような回路素子があれば、そこで仕事をするようになります。すなわち、広がったコ

コンデンサは電界エネルギーを放射するアンテナとして機能します。このとき、コンデンサとして機能した2枚の極板は、もはや純リアクタンスではなくなり、負荷につながる抵抗分ができてきます。この抵抗分は放射抵抗と呼ばれます。放射抵抗は空間へ放射される電力を消費するのに相当した仮想的な抵抗です。

なお、ダイポール・アンテナの詳細については、次章以降に触れることにします。

1-3

「電波」の発生とその基本用語
— [Maxwellの電磁方程式], [波長], そのほか

図1-8で変位電流を空間に送り出すメカニズムを見てきましたが、せっかくの機会なのでここで電波の基本的なことについてもう少し突っ込んで考えましょう。

前節で電流は、磁力線と同じように、電線であろうが空間であろうが、お構いなしに流れ、流れた電流は磁界を発生し、磁界はまた新たな電流を発生すると大胆な結論を述べました。

この結論によれば、図1-3に示したアンテナの二つの源流、ループ・アンテナとダイポール・アンテナは、最初に磁界があるか電流があるかの違いだけであることがわかります。

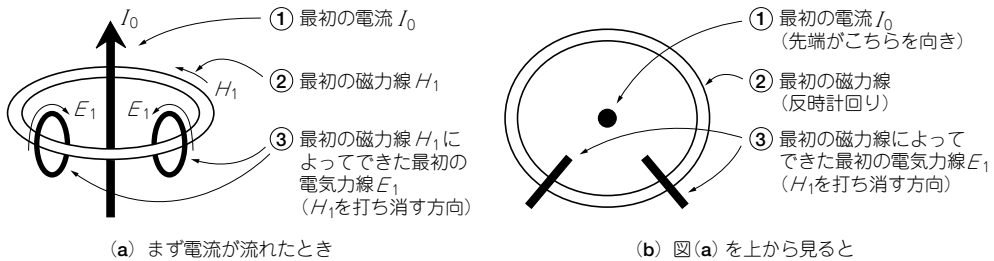
そこで、ダイポール・アンテナを例にとりて、電界と磁界の“絡み方”を整理してみます。図1-9に電界と磁界がどのような順序でできるのかを定性的に整理しました。

これは昔から説明されている、直感的にわかりやすい、ポピュラーな方法です。

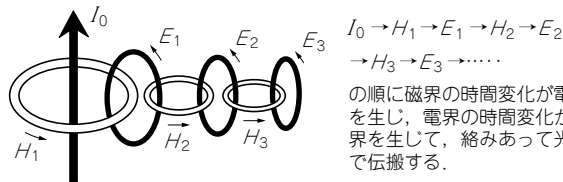
図1-9(a)に示すように、最初の電流が流れたら、まずアンペールの右ねじの法則で最初の磁力線ができます。この磁力線の周囲に、この磁力線を打ち消す方向に電気力線ができます。

このありさまは、最初の電流を中心として半径方向に均等ですが、一方向にのみ着目すれば図1-9(c)に示すように、磁界と電界が交互に絡み合って放射されることがわかります。

ことわっておきますが、図1-9(c)の状態は同時に起こっているのではなく、中心から周辺に向かって



(a) まず電流が流れたとき (b) 図(a)を上から見た



$$I_0 \rightarrow H_1 \rightarrow E_1 \rightarrow H_2 \rightarrow E_2 \rightarrow H_3 \rightarrow E_3 \rightarrow \dots$$

の順に磁界の時間変化が電界を生じ、電界の時間変化が磁界を生じて、絡みあって光速で伝搬する。

(c) 磁界と電界が放射していくようす



図1-9 電波はどのようにして広がり、そして進んでいくか

順番に起こる変化を、スローモーション的に描写したものと思ってください。

電波が放射された結果、全体としてどのようなになっているかを説明したものが図1-10です。

最初の電流を中心とし、同心円状に磁界ができています。

電界は磁界と直交する形で(最初の電流と平行かつ反対向きに)存在します。

電界と磁界が絡んで電波が伝搬していくようすを定性的に眺めましたが、理論的にはどうなのか少しばかり垣間見てみます。

マクスウェル(James C.Maxwell, 1831-1879, 英)は、電磁誘導と変位電流の概念を総合して高度な数学理論を展開し、電磁波の存在を予言しました。今日の電波の理論は彼から始まるのですが、いったいどのような方程式なのかを図1-11に簡単に紹介します。

これは今風に簡略化した式なので、非常に単純に見えますが、かなり高度な数学の世界なので、紹介するだけにとどめ、こまかく解析することは差し控えます。

図中、 H や E が斜体の太字になっているのは、ベクトルという大きさと方向を持つ物理量のことで、ベクトルの演算を行えば、大きさと方向が得られるので電波の伝搬についても非常に有効です。この手法によって電波の伝搬を解析したものが図1-12です。

図1-12に示すようにダイポールが発振器によって励振され、電流 I が流れたとすると、この電流に呼応して磁界 H が図のような方向に発生します。また、ダイポールからは図1-8(c)の場合と同様、破線のよ

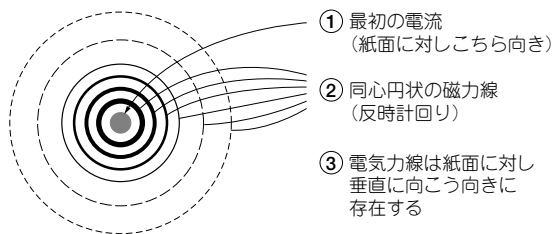


図1-10 打ち消しあう電気力線と磁力線を整理すると

$$\text{rot } \mathbf{H} = \mathbf{i} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$$

$$\text{rot } \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\text{div } \mathbf{D} = \rho$$

$$\text{div } \mathbf{B} = 0$$

[記号の意味]

\mathbf{H} : 磁界のベクトル
 \mathbf{i} : 電流のベクトル
 \mathbf{D} : 電束密度のベクトル
 \mathbf{E} : 電界のベクトル
 \mathbf{B} : 磁束密度のベクトル
 t : 時間
 ρ : 真電荷の体積密度
rot : ベクトルの回転を示す演算記号
div : ベクトルの発散を示す演算記号

$\frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}, \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$: 偏微分と呼ばれる演算記号

図中の方程式のうち最初の2式をマクスウェルの電磁基礎方程式とも呼ぶ(電気学会編「電気磁気学」など)

図1-11 マクスウェルの電磁方程式

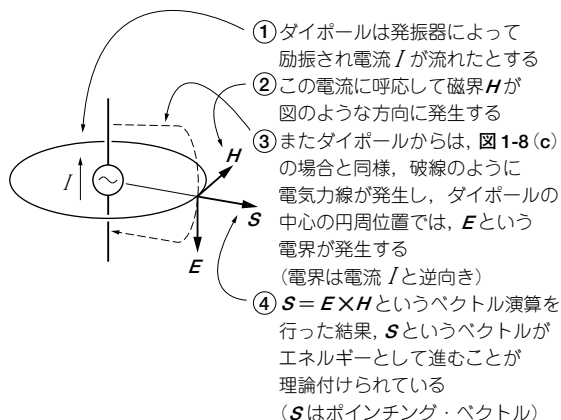


図1-12 電波の放射をマクスウェル風に解析する

うに電気力線が発生し、ダイポールの中心の円周位置では**E**という電界が発生します(電界は電流**I**と逆向きになっている)。

Eと**H**とは直交しており、 $\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H}$ というベクトル量が、この点から半径を遠ざかる方向に伝搬していくことが導き出されています。

$\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H}$ はポインティング・ベクトルと呼ばれ、単位は $[\text{W}/\text{m}^2]$ という電力密度です。

わざわざベクトルによるややこしい解析を紹介しましたが、当然のことながら、マクスウェルの格調高い方法でも、**図1-9**や**図1-10**と同じ結論が得られていることを理解しておいてください。彼の電磁方程式を実際に解くことはたいへんなので行いませんが、この方程式から導き出される大切な結論は、**互いに直交する電界と磁界とが**、さらに両者に直交する方向に波動エネルギーとなって伝わって広がるということです。

さて、ここで電波に関する基本的な言葉をひとつとおり眺めてみます。交流の回路理論に出てくる最初の技術用語は **[周波数]**、**[振幅]**、**[位相]** ですが、これらについてはすでに理解しているものとします。しかし、無線の世界になるとひと味違った意味が付け加わります。

[周波数] は、回路では電圧や電流の向きが毎秒何回交替しているかを表す用語ですが、電波では電界あるいは磁界が、毎秒何回交替しているかを表す用語になります。

また、周波数の別の表現として **[波長]** が付け加わります。

波長と周波数とは電波の速度を介して、対等の親戚関係になっています。すなわち

$$\lambda = \frac{C}{f} \text{ [m]}$$

ただし、 λ (ラムダ) : 波長 [m], C : 電波の速度 [m/s], f : 周波数 [Hz]

電波の速度は、真空中の光速 (2.9979×10^8 m/s) を近似して、 3×10^8 [m/s] を用います。

f を [MHz] で表せば、

$$\lambda = \frac{300}{f} \text{ [m]}$$

で近似することができます。この式は今後非常によく出てきます。

すでにアマチュア無線の運用の中では周波数や波長の呼び名を常識として使い慣れているでしょうが、**表1-3**に周波数による電波の分類を整理しました。

ところで「電波法」によると、**電波とは300万メガヘルツ以下の周波数の電磁波をいう**、となっています。電磁波とは何かという定義はありませんが、300万メガヘルツより高い周波数の電磁波には周波数の低いほうから、赤外線、可視光線、紫外線、X線、ガンマ線と呼ばれる電磁波群が存在しています。**表1-3**を見てもわかるように、高い周波数のグループが、光の性質に酷似していることに、ナルホドとうなずけると思います。

波長はアンテナの構造を決めるうえできわめて重要な要素ですが、次章で取り上げます。

見本 **[振幅]** という言葉は、無線ではもっぱら「電界の強さ」=「電界強度」に相当します。

電界強度はすでに述べたとおりですが、交信上重要な要素です。

表1-3 周波数による電波の分類

通称	略称	周波数	波長	波長による名称	性質, 用途など
サブミリ波		300GHz～3THz	1mm～0.1mm	デシミリメートル波	・きわめて強い直進性 ・雨や霧の影響大
ミリ波	EHF (Extremely High Frequency)	30GHz～300GHz	10mm～1mm	ミリメートル波	・光の性質に酷似 ・レーダーなど
マイクロ波	SHF (Super High Frequency)	3GHz～30GHz	10cm～1cm	センチメートル波	・強い直進性がある ・雨や霧の影響大
極超短波	UHF (Ultra High Frequency)	300MHz～3GHz	1m～10cm	デシメートル波	・光の性質に酷似 ・携帯電話, TV, FMなど
超短波	VHF (Very High Frequency)	30MHz～300MHz	10m～1m	メートル波	・近距離通信
短波	HF (High Frequency)	3MHz～30MHz	100m～10m	デカメートル波	・電離層反射 ・国内外通信
中波	MF (Medium 300kHz～Frequency)	1km～3MHz	100m	ヘクトメートル波	・電波伝搬が安定 ・放送ほか多用途
長波	LF (Low Frequency)	30kHz～300kHz	10km～1km	キロメートル波	・電波伝搬が安定 ・長距離通信(船舶など)
超長波	VLF (Very Low Frequency)	3kHz～30kHz	10km以上	ミリアマートル波	・地表に沿って伝搬 ・大電力長距離通信

「位相」は回路上の電圧や電流にもありますが電波にも存在し、運用上問題になったり、逆にうまく利用することで特徴のあるアンテナを作り出せるなど、内容の深い言葉です。

1-4

「電波」の伝搬とその基本用語
— [直接波], [反射波], [電離層], [偏波]

前節では電波が発生するからくりを見てきました。ここからは、電波がどのように広がり進んでいくかを整理します。電波の伝搬は技術のうえでも、アマチュア無線の運用上でも、非常に大切な要素です。

さて、電波の伝搬はズバリ「反射」が主体になっているといっても言い過ぎではありません。

表1-4は伝搬の主なモードを示すものです。表1-3をアマチュア向きに整理し、表1-4とあわせて周波数別の伝搬モードを整理したものが表1-5(次ページ)です。

対流圏波という少しむずかしそうなモードがありますが、対流圏というのは地球をつつむ大気層のうち、地上約10kmまでの対流の起こる部分をいいます。それより外側の地上約50kmまでの層を成層圏と呼び、

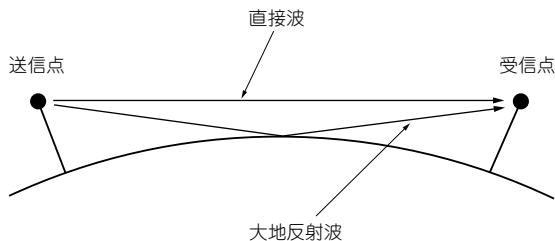
表1-4 電波が伝搬する主要モード

地上波	直接波	見通し距離にある送信および受信アンテナ間を直接伝わる電波
	大地反射波	送信アンテナから出た電波が大地で反射されて受信アンテナに伝わる電波
	地表波	特に数MHz以下の垂直偏波の電波が大地の表面に沿って伝搬するものをいう
電離層波	地球を取り巻く電離層と屈折, 減衰, 反射を繰り返す電波	
対流圏波	VHF波やUHF波が気象の状態によって、地上波とは別の伝わり方をするもの	

見本

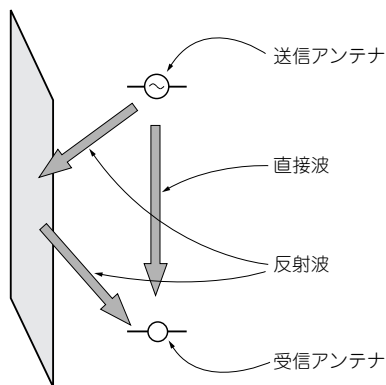
通称	略称	周波数	近距離の場合	遠距離の場合
極超短波	UHF	300MHz～3GHz	直接波, 大地反射波	直接波, 対流圏波
超短波	VHF	30MHz～300MHz		電離層波(F), 対流圏波
短波	HF	3MHz～30MHz	電離層波(F)	電離層波(F)
中波	MF	300kHz～3MHz	地表波	電離層波(E)
長波	LF	30kHz～300kHz		

表1-5
周波数による電波の伝搬モード



- ・ 見通し距離にある送受信点間の伝搬は直接波が主体。
- ・ UHF, VHF では直接波と同様に大地反射波も到達する。
- ・ 受信点では直接波と大地反射波との位相差によって干渉が生じ、電界強度が直接波だけの場合より増えたりあるいは減ったりする。
- ・ 受信点の高さによって電界強度の増減が繰り返され、この現象をハイト・パターンと呼ぶ。

図1-13 VHF, UHFの代表的な近距離伝搬



- ・ 直接波の経路に電波の障害物が介在すると直接波の減衰が起こり、反射波が勝つことがある

図1-14 直接波と反射波との競合

さらにその外側が電離層です。

対流圏の気象や物理的な性質によって、対流圏を伝わるVHFやUHFの遠距離通信ができることが知られています。主として直接波の対流圏伝搬と考えられているようです。対流圏波以外では、直接伝わる「直接波」、大地に反射して届く「大地反射波」、それと電離層で反射を繰り返して届く「電離層波」も反射が命ですから、「伝搬」は「反射」だといっても過言ではありません。

もっとも身近にある、VHFとUHFの「直接波」と「大地反射波」の事例を図1-13に示します。

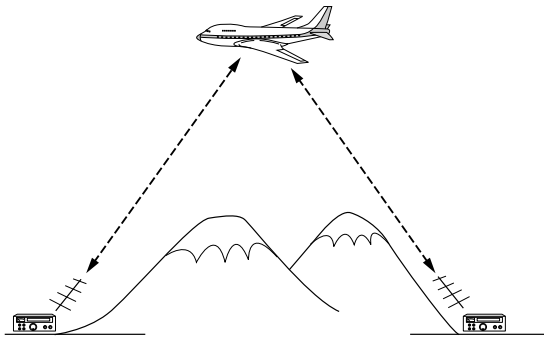
直接波と反射波とは、位相差によって強めあったり弱めあったりしますが、この現象をハイト・パターンと呼んでいます。ハイトとは高さのことです。

反射は常に大地からとは限らず、立体物からも反射されます。この事例を図1-14に示します。

形の上では図1-13の大地の部分縦形にしたようなものですが、ビルの立て込んだ街を想像するとよいでしょう。反射を起こす立体物は一つとは限りません。いろいろな反射物を經由して電波が到来する状態をマルチ・パスなどと呼び、受け取る側から見ると雑音となります。テレビのゴーストもこれに属します。また、直接波の経路に思わぬ障害物が存在することもあり、そのときには交信の頼りになるのは反射波ということになります。

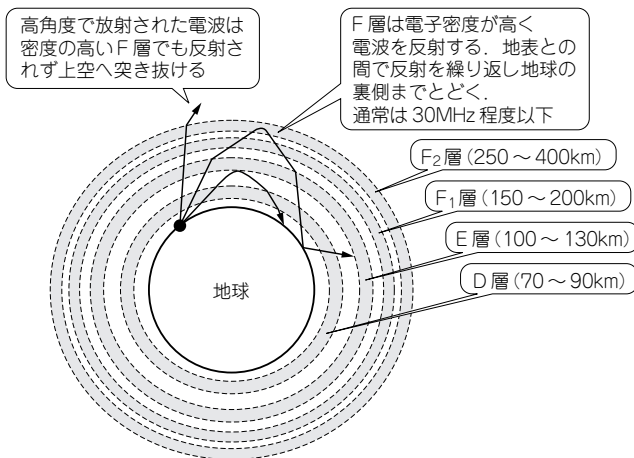
この状況をアマチュアらしく活用した事例を図1-15に示します。これはふだん交信できない局どうしが、旅客機の定期便の時間帯をねらって飛行機反射で交信するという事例です。

反射を利用するのは、お月様の利用も同じことです。反射が起こると注意しなければならないことがあります。それは「偏波」の問題ですが、このあと触れます。



- ・山のあなたの空遠く……
- ・定期航空便をねらって交信可能!!!
- ・月面反射も同じ理屈

図1-15 反射をうまく利用するとこんなことも



- ・太陽から放射される紫外線などにより地球上空の大气が電離され、誘電率の高い導体の層が形成される。
- ・この電離層には陽イオン、陰イオン、自由電子があるが、特に自由電子の密度が電波の伝搬に影響を与える。
- ・その影響とは、屈折、反射、減衰である。
- ・電離層は図のとおり、D、E、F₁、F₂の各層があるが、電子密度は上空に行くほど高い。D層は反射より減衰の影響が大きく、夜間は消滅する。E層は中波帯や短波帯の低い周波数側を反射する。
- ・短波による海外との交信はF層によるところが大きい。
- ・太陽の黒点の影響で50MHz以上を反射することがある。
- ・夜間にはF₁とF₂とが一体化する。

図1-16 電離層による電波の伝搬状況

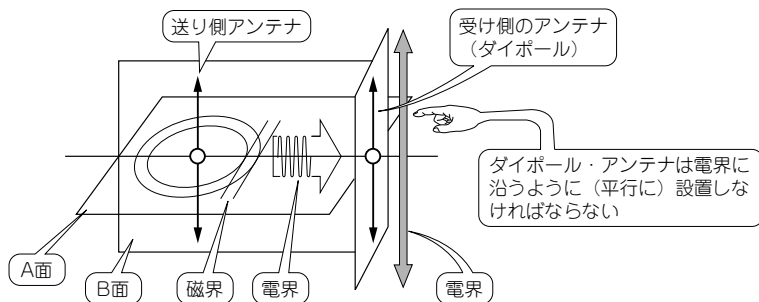
さて、アマチュア無線にとって最大の醍醐味は、HFによる遠距離交信です。表1-5に示したようにF層による電離層波が使用されます。電離層については図1-16に解説するとおりで、年、季節、昼夜の別、周波数によっていろいろに変化します。また、太陽の活動、黒点の数におおに関係があります。

電離層では反射も起こりますが、層の内部の電子密度の違いによって屈折も起こり、電波の減衰も生じます。電離層はフワフワ動いているので、鏡などによる反射とは異なり到達する電波も強くなったり弱くなったりして、フェージングという現象につながります。

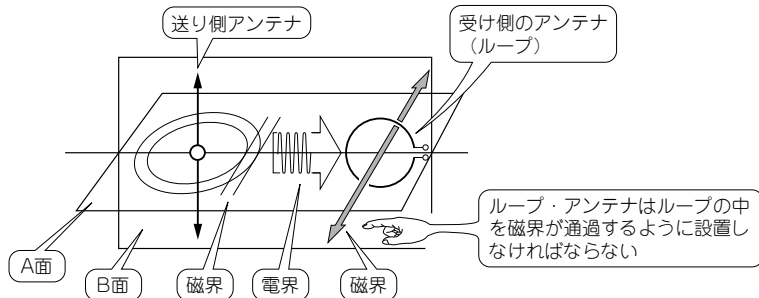
電波を地上から垂直に発射し、その周波数をだんだん高くしていくと、ある周波数以上で反射しなくなり、電離層を突き抜けてしまいます。反射する最高周波数を「**臨界周波数**」と呼んでいます。

さて、ここで送受信の基本として守らなければならない原則であり、「反射」に伴って思いがけない現象を引き起こすことでも知られている、重要な言葉「**偏波**」について考えることにします。

アマチュア無線では電波を出す人も受ける人もアンテナを使って送受信を行います。その送受アンテナ



(a) 受け側のアンテナが送り側と同じダイポールの場合



(b) 受け側のアンテナがループ・アンテナの場合

1. 送り側のアンテナから電界と磁界が出るようすは図1-12参照。その結果を踏まえて図中に電界と磁界を記入してある。
2. 送り側と受け側とを入れ替えてもこの相対姿勢でなければならない。

図1-17
電波の送り側と受け側のアンテナの相対姿勢

は特定の相互姿勢が保たれている必要があります。

特にVHFやUHFによる近距離通信では鉄則の常識です。

アンテナには図1-3に示したように2通りの源流、ダイポール型とループ型があります。

図1-17(a)はダイポールどうしの組み合わせ、図1.17(b)はダイポールとループとの組み合わせの基本姿勢を説明したものです。

図1-17を見れば理解できると思いますが、ダイポールから放射された電波をダイポールで受けるときは、電界の向きが一致するように設置し、ダイポールから放射された電波をループで受けるときは、ループの中に(電界とは垂直な)磁界が通過するような向きに設置しなければならないということです。

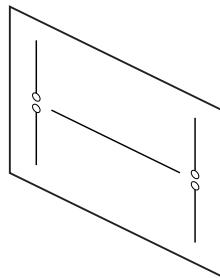
例えば、送り側をループ型としても、すなわち、送り側と受け側が入れ替わっても、この守らなければならない相対姿勢は同じです。

図1-17は、アンテナの姿勢や電界、磁界の関係を理解するために、A面やB面と名づけた平面を使っていますが、大地との関係については触れていません。

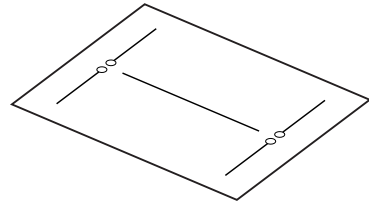
実際には送り側のアンテナは大地に対して垂直である「垂直ダイポール」か、大地に対して水平である「水平ダイポール」になるので、前者に対してはA面が大地と同じ水平面になり、後者に対してはB面が大地と同じ水平面になると考えればよいわけです。

見本

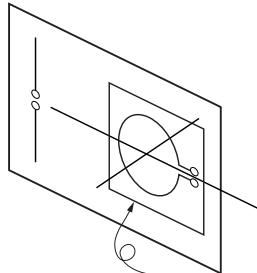
少しややこしい説明をしてしまったので、図1-18に結論を整理しました。



(a) 垂直ダイポールどうし

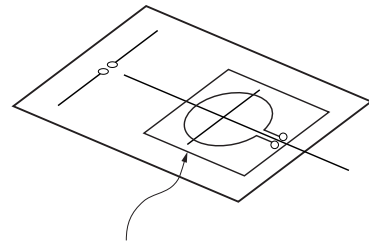


(b) 水平ダイポールどうし



ループの輪の面を垂直にする

(c) 垂直ダイポール vs ループ



ループの輪の面を水平にする

(d) 水平ダイポール vs ループ

図1-18
送受信アンテナの組み合わせの基本形

特に近距離で交信するVHFやUHFアンテナの相互姿勢は、この考え方で設置するのが鉄則です。実際に使用されるアンテナは、八木アンテナなどエレメントの多いアンテナが多用されるので指向性などの技術的な問題がありますが、このことは次章以降に触れるとして、ここでは無線機が直接つながるダイポールやループに関する限り、図1-18の相対姿勢を守らなければならないと理解してください。

この基本を説明する重要な言葉が「偏波」です。

電界が大地に対して垂直方向に変化する電波を「垂直偏波」といい、大地と平行な面内で変化する電波を「水平偏波」といいます。特に近距離間の交信の場合、送り側が垂直偏波の姿勢なら受け側も垂直偏波の姿勢に合わせるのが基本です。水平偏波についても同様です。このことを「偏波面を合わせる」といいます。

子供たちのお遊びで、二人の張った綱を波の形のように振動させるとき、一方の子供が手を上下に動かしたら、もう一人の子供もそれに合わせて手を上下に動かすと、きれいな波の形ができるでしょう。これは二人で垂直偏波に偏波面を合わせたことになります。

さて、基本はこれでよいのですが、実際に空を飛んでいる電波の偏波はどのようになっているのでしょうか。

アマチュア無線は海外とも交信するわけですが、日本で垂直ダイポールを使用しているから、海外にいる相手の場所でも垂直偏波になっているか、というとそうはいきません。もっと身近な例で考えます。図1-14を見てください。

図1-14に示すように障害物のために、本来の垂直偏波の直接波が届かないような場合、反射物が地面

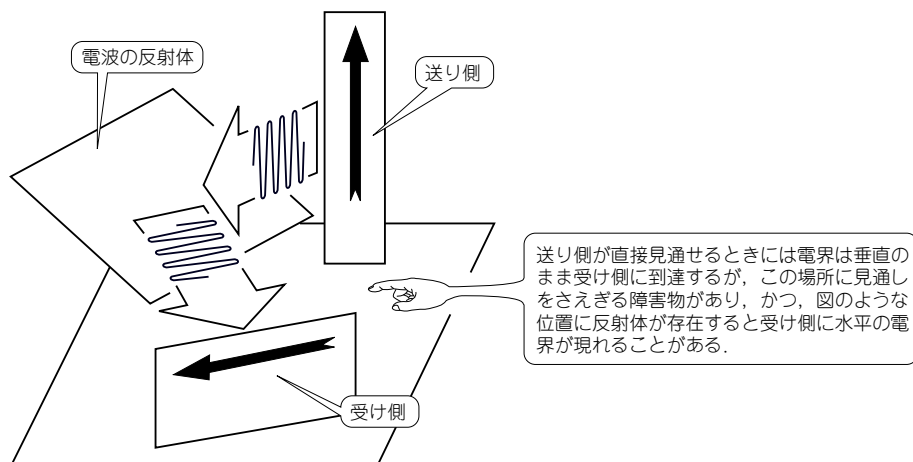


図1-19
反射による偏波面の変化

に対して垂直だったらとりあえずハッピーですが、図1-19に示すように妙な角度で反射するようになっていたら、垂直偏波で放射された電波が届いてみたら水平偏波になっていたということもあるのです。水平偏波は水平のダイポールで受信することになります。

このことは、目の前に立っている棒を、手鏡を使って適当な角度で眺めると、横たわっている棒に見えることで容易に体験できます。

ここまでの結論は、送り側のアンテナから放射された直後の電波は、アンテナが大地に対して垂直か水平かで偏波面が特定されますが、受け側のアンテナに到達する段階では、周囲の環境によって偏波面が乱れることがあるということです。

特に遠距離や山谷のあるところは要注意です。このため、水平ダイポール・アンテナを用いて受信した出力と、垂直ダイポール・アンテナを用いて受信した出力とを合成して偏波の乱れを補う「偏波ダイバーシティ」という技法が使われることもあります。

偏波には使用するアンテナによって「円偏波」というものもあります。

「衛星通信」などで偏波面の特定が困難な場合、円偏波アンテナを使用すると、常にベストの状態とはいえませんが、到来電波がゼロになることを防ぐことができます。

円偏波はいろいろな方法で作られますが、たとえば「ヘリカル・アンテナ」と呼ばれるらせん状のアンテナによっても実現します。ただし、これはモバイルに用いられる短縮型のヘリカル・ホイップ・アンテナとは別のものです。

また、そのらせんが左巻きか右巻き(左施か右施か)で偏波の向きが異なり、たがいに送受できなくなるというおもしろいものです。

見本