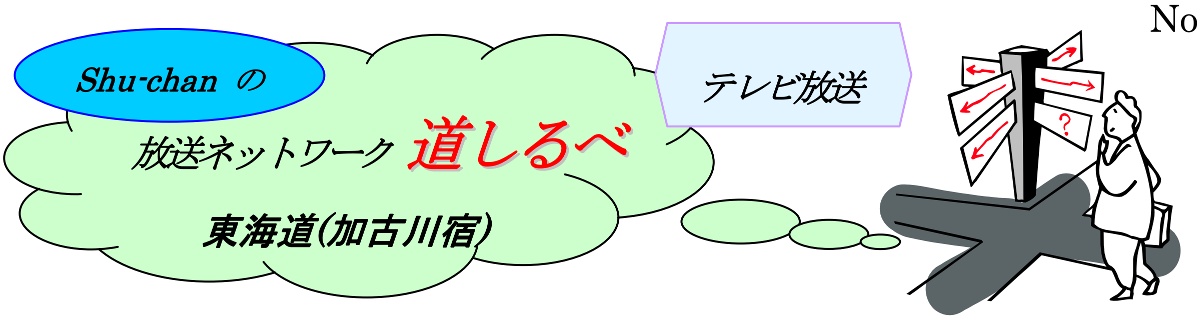

＜建造物障害予測技術 その７ ：予測技術の基礎 1＞

（自由空間ならびになめらかな平面大地における電波伝ぱん）

いよいよ今回から、詳しい建造物障害技術をマスターすることにします。そのため、前段として、電波に関する物理的現象に関して知らねばなりません。それらを「予測技術の基礎」として 6 回に分けて解説します。

予測技術においては避けることができない「三角関数」や「フレネル積分」を駆使しなければなりません。できるだけ一般の方にも理解しやすいように砕いた解説に努めたいと思います。最初は、電波の伝わり方からスタートし、障害予測の基礎、しゃへい障害、反射障害へと進めます。

☆ 自由空間における電波伝ぱん

図 1 に示すような何もない空間、すなわち電波をしゃへいまたは反射するものがない自由空間に置かれた半波長ダイポールアンテナに高周波電流を流すと、空間の各位置で電界が発生します。いま、アンテナに供給する電力を P(W)、アンテナのエレメント（素子）に直角方向のある地点 R までの距離を d(m)とすると、その地点の電界強度は、No21「テレビ放送波の伝わり方」にて解説したように次の式で表わされます。

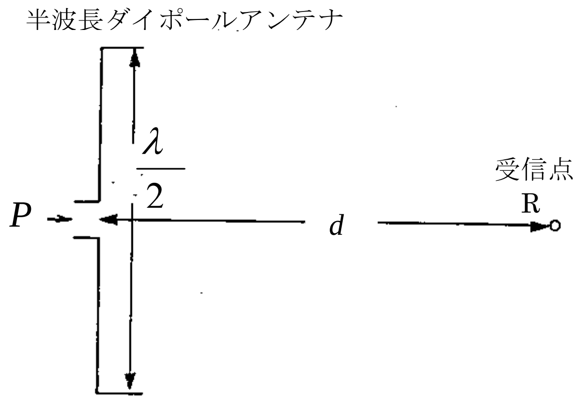

図 1　自由空間での電界

$$E_0 = \frac{7\sqrt{P}}{d} \quad (\mathrm{V/m}) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (147-1)$$

また、一般のアンテナは、半波長ダイポールアンテナに対してある利得をもっています。そこから輻射される電力は、アンテナ利得と送信電力で決まる実効輻射電力（ERP）になりこれを Pe（W）で表わすと自由空間における電界強度は次式で表わされます。

$$E_0 = \frac{7\sqrt{P_e}}{d} \quad \text{(V／m)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (147-2)$$

電界はその大きさと位相で表わされ、位相θ_d(ラジアン)は、アンテナのおかれた地点を中心に、アンテナからの距離に比例して遅れた次の式で表わされます。

$$\theta_d = -\frac{2\pi}{\lambda}d \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (147-3)$$

ただし、λは電波の波長（m）

したがって、自由空間における電界$\dot{E}$（・は「ドット」と呼び、ベクトル値であることを表わします。）は、（147－2）式で表わされる大きさと（147－3）式で表わされる位相を合わせて次の式になります。

$$\dot{E}_0 = -j\frac{7\sqrt{P_e}}{d}e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}d} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (147-4)$$

なお、 $e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}d} = \cos\frac{2\pi}{\lambda}d - j\sin\frac{2\pi}{\lambda}d$

また、参考として $e^{j\frac{2\pi}{\lambda}d} = \cos\frac{2\pi}{\lambda}d + j\sin\frac{2\pi}{\lambda}d$

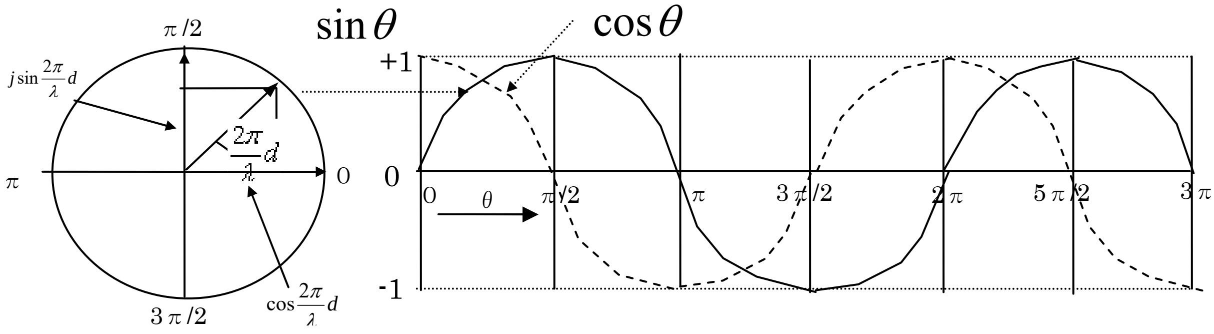

図２　電界強度の複素数表示

さらに厳密にいえば、電界は高周波振動により発生するので、（147－4）

式は時間とともに振動を繰り返します。この様子を回転するベクトルならびに時間を横軸としてグラフで表すと図２のようになります。

（147－2）式や（147－4）式は電波障害現象を理論的に解析する場合の基本式です。

☆　電界強度のデシベル表示

電界強度の単位は、（V／m）ですが、一般に１μV／m を０dB としたデシベル表示が用いられています。$E_0(V/m)$ から $A(dB)$ への変換は、次の式で求めます。

$$A = 120 + 20\log E_0 (dB) \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (147\text{―}5)$$

(理由　$E_0^{'} = E_0 \times 10^6 \ (\mu V \ / \ m)$　：$20\log(E_0 \times 10^6) = 20\log E_0 + 20 \times 6$)

図３は（147－5）式の換算曲線で、おおよその値を覚えておくと便利です。

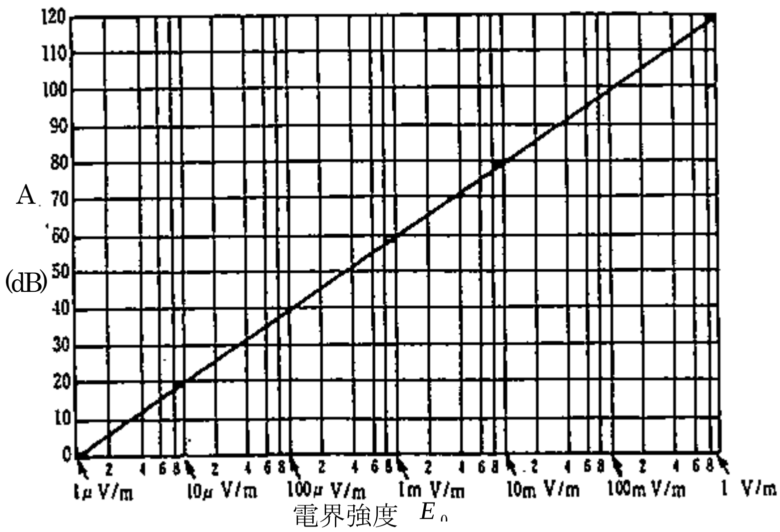

図３　デシベル換算曲線

☆　なめらかな平面大地における電波伝ぱん

図４に示すなめらかな平面大地上での受信電界は、直接、受信アンテナに到達する電波と大地で反射して受信アンテナに到達する電波とのベクトル合成値になり、$d \gg h_1, h_2$ でかつ $h_1 > h_2$ のとき次式で表わされます。

$$\dot{E} = \dot{E}_1 + \dot{E}_2 \fallingdotseq \left(e^{j\theta_r} + \dot{R} e^{-j\theta_r} \right) \dot{E}_0 \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (147\text{―}6)$$

ただし、　$\dot{E}_1$　：　直接波による受信電界（$= \dot{E}_0 \, e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}(r_1 - r_0)}$）

$\dot{E}_2$　：　大地反射波による受信電界（$=\dot{E}_0\dot{R}e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}(r_2-r_0)}$）

$\dot{E}_0$　：　自由空間電界　（$=-j\dfrac{7\sqrt{P_e}}{d}e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}r_0}$）

$\dot{R}$　：　大地反射係数(水平偏波のテレビ電波では $R\fallingdotseq-1$ として取り扱えます)

θ_r　：　直接波と大地反射波のそれぞれの伝ぱん経路長 r_1、r_2 と r_0 との差に対応する位相差　$\left(\fallingdotseq\dfrac{2\pi h_1h_2}{\lambda d}\right)$

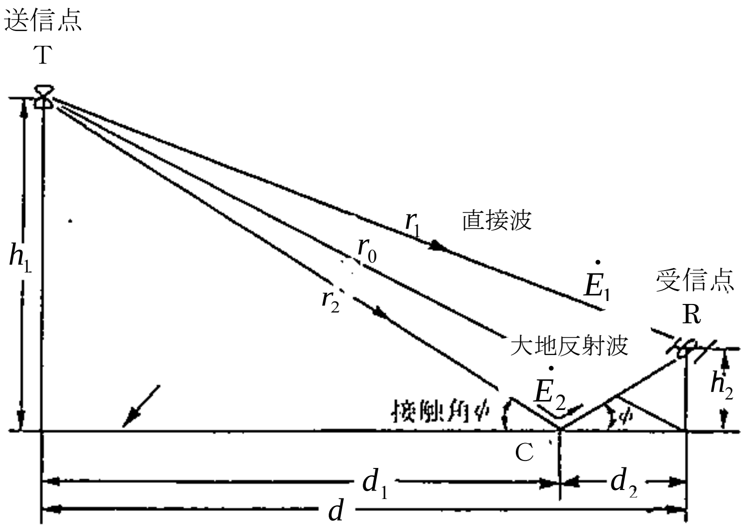

図４　なめらかな平面大地での電界

(147－6)式は、$\dot{R}=-1$　とすると、次式で表わされます。

$$\dot{E}\fallingdotseq j2\dot{E}_0\sin\frac{2\pi h_1h_2}{\lambda d}\quad\cdot\cdot(147-7)$$

[式の誘導:
　末尾もっと知りたい方のために]参照

電界強度は（147－7）式の絶対値で表され、受信アンテナ高 h_2 を０ｍより順次高くしていくと、　図５に示すように（147－7）式の sin の項の振動に応じて０ と $2E_0$ の間で振動を繰り返します。これをハイトパターンといいます。

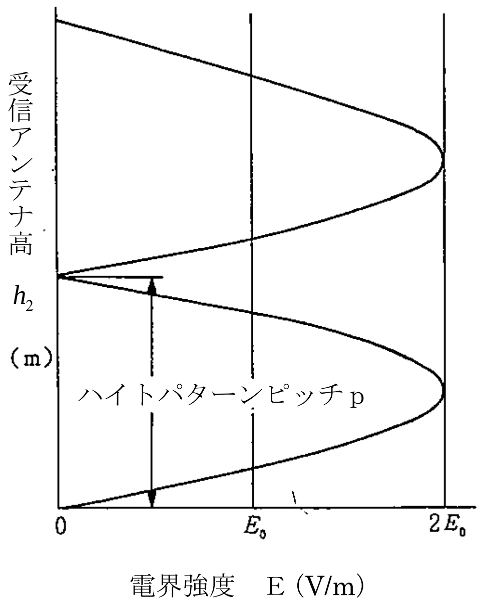

図５　ハイトパターン

電界強度の極小(または極大)になる受信アンテナ高から次の極小(または極大)となる受信アンテナ高までの長さをハイトパターンピッチ p といい、次の式で示されます。

$$p = \frac{\lambda d}{2h_1} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (147\text{—}8)$$

[式の誘導:末尾もっと知りたい方のために]参照

(147—8) 式からもわかるように、ハイトパターンピッチ p は波長 λ に比例するので、同一条件下では UHF の電波は VHF の電波に比べて短くなります。このハイトパターンピッチを用いると電界強度は次式で近似出来ます。

$$E = 2E_0 \left| \sin \frac{\pi}{p} h_2 \right| \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (147\text{—}9)$$

このようになめらかな平面大地上でのテレビ電波は、ハイトパターンのため受信アンテナ高によりその強さが変わり、障害予測においてその影響は無視できなくなります。さらに、$p \geqq 6h_2$ のとき（147－9）式は次式で近似されます。

$$E \fallingdotseq \frac{2\pi}{p} h_2 E_0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (147\text{—}10)$$

[式の誘導:末尾もっと知りたい方のために]参照

なめらかな平面大地における電界強度と自由空間電界強度 E_0 との比を $2S$ とおくと、（147－10）式は次の式になります。

$$E \fallingdotseq 2SE_0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (147\text{—}11)$$

ただし、$2S = 2\left| \sin \frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda d} \right|$

この $2S$ を大地反射波による位相合成率といいます。$2S$ を損失として表わす場合は、次式により位相損失 L_s (dB)として表わします。

$$L_s = -20\log 2S \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdot (147\text{—}12)$$

この位相損失は障害予測の計算ではしばしば使われることになります。また、図 4 の受信点 R から大地反射点 C までの距離 d_2 は、大地反射波の大地への入射角と反射角が等しいという条件より $d_1 : d_2 = h_1 : h_2$ が成り立ち、$d_1 = d - d_2$ なので d_2 は次式で与えられます。

$$d_2 = \frac{h_2}{h_1 + h_2} d \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (147\text{—}13)$$

[式の誘導:末尾もっと知りたい方のために]参照

[もっと知りたい方のために]

$$\dot{E} \fallingdotseq j2\dot{E}_0 \sin\frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda d} \qquad \cdot\cdot(147\text{—}7)$$ の誘導

(147—6) 式より

$$\dot{E} = \dot{E}_1 + \dot{E}_2 \fallingdotseq \left(e^{j\theta_r} + \dot{R}e^{-j\theta_r}\right)\dot{E}_0 = \left(\cos\theta_r + j\sin\theta_r - \cos\theta_r + j\sin\theta_r\right)\dot{E}_0$$

$$= j2\dot{E}_0 \sin\theta_r = j2\dot{E}_0 \sin\frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda d}$$

$$p = \frac{\lambda d}{2h_1} \qquad \cdots\cdots (147\text{—}8)$$ の誘導

$$E = 2E_0\left|\sin\frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda d}\right| = n\pi$$ n は整数

E が 0 となるのは $\frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda d} = \pi$ で $h_2 = \frac{\lambda d}{2h_1}$

$$E \fallingdotseq \frac{2\pi}{p} h_2 E_0 \qquad \cdot\cdot(147\text{—}10)$$ の誘導

$\sin\delta \fallingdotseq 0$ のとき $\sin\delta \fallingdotseq \delta[rad]$ となるので

$$E = 2E_0 \sin\frac{\pi}{p}h_2 \fallingdotseq \frac{2\pi}{p}h_2 E_0$$

$$d_2 = \frac{h_2}{h_1 + h_2} d$$ ・・(147―13) の誘導

$$d_1 : d_2 = h_1 : h_2 \qquad (d - d_2)h_2 = d_2 h_1$$

$$h_2 d - h_2 d_2 = d_2 h_1 \qquad d_2(h_1 + h_2) = h_2 d$$

よって $$d_2 = \frac{h_2}{h_1 + h_2} d$$

弊社では予測調査やその他調査を行っています。ご相談ください。