

0 1 . 電波伝搬

(1) 自由空間伝搬

自由空間伝搬減衰量 L_f は、伝搬距離を d 、波長を λ として、

$$L_f = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2$$

デシベル表記の L_{fdB} なら、

$$L_{fdB} = 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)$$

例 1 : $\lambda = 1$ [m]、 $d = 10$ [km] のとき、

$$L_{fdB} = 102 \text{ [dB]}$$

例 2 : $\lambda = 0.06$ [m]、 $d = 36000$ [km]

のとき、 $L_{fdB} = 198$ [dB]

(2) 平面大地での伝搬

送受信局の条件が与えられ、受信点での電界強度を求める問題。

送受信 :

送信点の高さ = h_1 [m]

送信電力 = P [W]

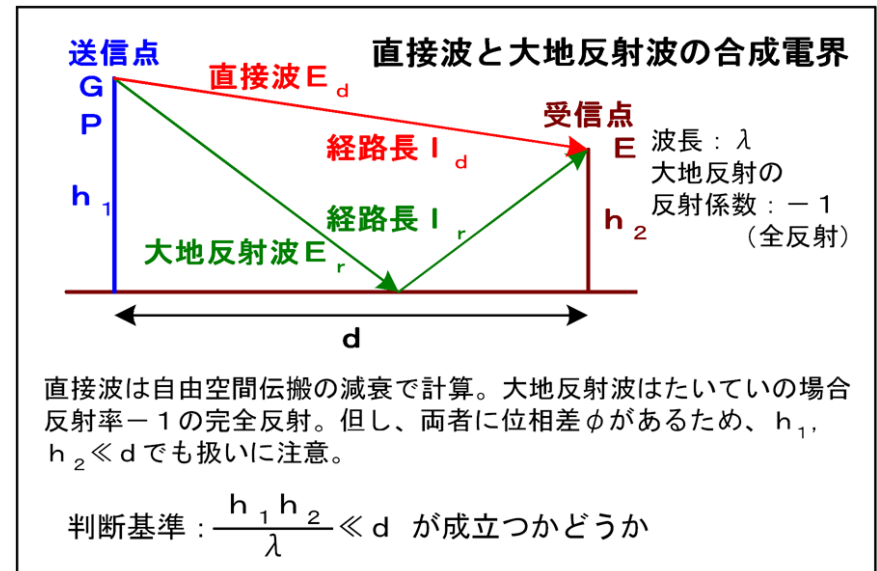
アンテナ利得 (相対) = G

受信点の高さ = h_2 [m]

波長 = λ [m]

送受点間距離 = d [m]

大地反射波の反射率 = -1



(2) 平面大地での伝搬 (続き)

まず、直接波による電界の強さ E_d を求める。強さに関しては、 $h_1, h_2 \ll d$ であれば $l_d \approx d$ と近似してよい。

$$E_d = \frac{7\sqrt{GP}}{d} \quad G \text{ が絶対利得表記 } G_a \text{ なら} \quad E_d = \frac{\sqrt{30G_a P}}{d} \quad \text{とする。}$$

次に、直接波の経路長 l_d と大地反射波の経路 l_r の差による、位相差 δ を求める。

$$\delta = \frac{2\pi(\ell_r - \ell_d)}{\lambda} \approx \frac{4\pi h_1 h_2}{\lambda d}$$

E_d と E_r の合成電界強度 E は、

$$E = E_d + E_r = E_d \sqrt{2(1 - \cos \delta)} \quad \text{で表せるが、}\sqrt{\text{ }} \text{ の中で、}$$

$$1 - \cos \delta = 2 \sin^2(\delta/2) \quad \text{なので、}$$

$$E = 2E_d \sin \frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda d}$$

以降、 $h_1, h_2 \ll d$ だからといって、簡単に近似してはいけない。sinの引数がどの程度の値かを調べる。

0 1. 電波伝搬

(2) 平面大地での伝搬 (続き)

$$\frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda d} < 0.5 \quad \text{なら、下記 I の近似を使って E を計算する。}$$

I d や λ が大きく、上記の条件が成立する時

$$\sin \frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda d} \approx \frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda d} \quad \text{として、先に求めた } E_0 \text{ を上の E の式に代入し、}$$

$$E = \frac{14\sqrt{GP}}{d} \frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda d} \approx \frac{88h_1 h_2 \sqrt{GP}}{\lambda d^2} = \frac{68.8h_1 h_2 \sqrt{G_a P}}{\lambda d^2}$$

II d が大きくないか、 λ が短く上記の条件が成立しない時先に求めた E_0 をそのまま上の E の式に代入し、

$$E = \frac{14\sqrt{GP}}{d} \sin \frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda d} \quad \text{or} \quad \frac{2\sqrt{30G_a P}}{d} \sin \frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda d}$$

を計算する。

0 1 . 電波伝搬

(3) 球面大地での伝搬

送信アンテナの高さが h_1 、地球の半径を R とした時の見通し距離 D_1 の計算式を求める。

$$d_1 = \sqrt{2Rh_1 + h_1^2}$$

ここで、見通し距離程度では $D_1 \doteq d_1$ なので、上式を近似した式から、

$$D_1 = \sqrt{2Rh_1}$$

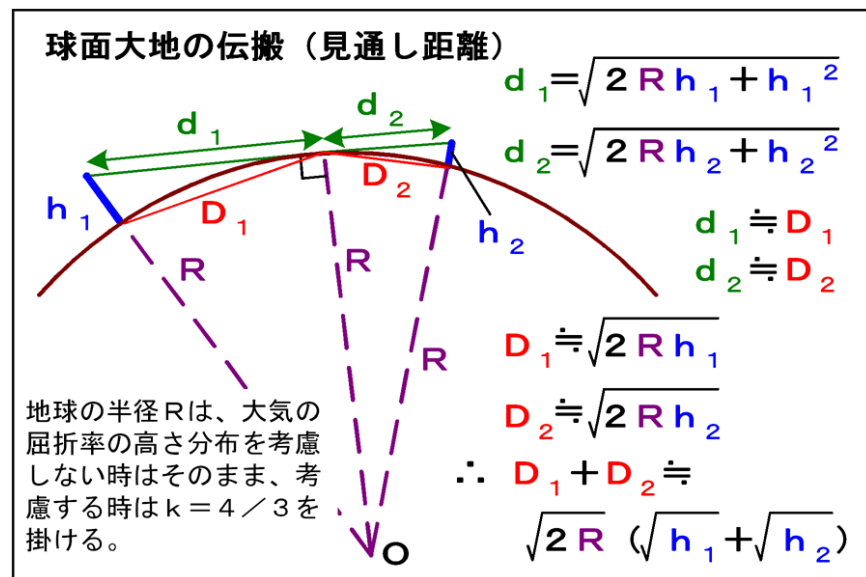
同様に、受信側についても、

$$D_2 = \sqrt{2Rh_2}$$

送受信間の見通し距離 D は、送受信各々の見通し距離の和だから、

$$D = D_1 + D_2 = \sqrt{2R}(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$$

大気の屈折率の高さ方向の分布を考慮に入れるときは、 R の代わりに等価地球半径係数 K ($=4/3$) を掛けた KR を代入すればよい。 h を [m] 表記として、 $R=6378$ [km] とすれば、



0 1. 電波伝搬

(3) 球面大地での伝搬 (続き)

$$D = \sqrt{2R} \sqrt{h} = 3572 \sqrt{h} \text{ [m]} \quad \text{地球の半径そのまま}$$

$$D = \sqrt{2KR} \sqrt{h} = 4124 \sqrt{h} \text{ [m]} \quad \text{地球の半径をK倍}$$

(4) 電離層伝搬

電離層の構成と特徴

名称	高さ	性質
D層	60~80 km	昼間のみ 長波を反射
E層	100km付近	昼間は中短波を反射、夜間は長中波を反射
Es層	100km付近	夏至前後の時期に突発的に生じる高電子密度の層
F層	200~400 km	冬季を除く昼間はF1層とF2層に分かれる
	F1	中短波を反射
	F2	短波を反射 (F1より高度が高い)

電離層による反射と減衰

- ・ 第一種減衰 ... 電離層を突き抜ける時に生ずる減衰
- ・ 第二種減衰 ... 電離層で反射する時に生ずる減衰

臨界周波数とMUF

- ・ 臨界周波数 ... 垂直に打上げた時に突き抜ける限界の周波数
- ・ MUF ... ある入射角 θ の時に使用できる最高の周波数
- ・ 正割法則 ... $MUF = \text{臨界周波数} \sec \theta$ のこと

0 1. 電波伝搬

(4) 電離層伝搬 (続き)

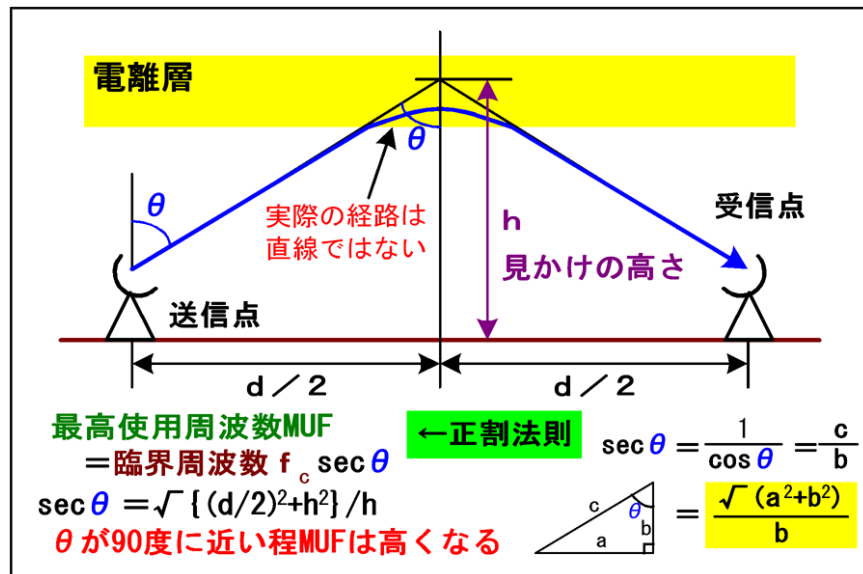
大地も電離層も平面と仮定する。電離層の見かけの高さを h 、入射角を θ 、送受信点間の距離を d 、臨界周波数を f_c とすると、この2点間の最高使用周波数 f_{MUF} は、

$$f_{MUF} = f_c \sec \theta = f_c \sqrt{1 + \left(\frac{d}{2h}\right)^2}$$

$$\left(\because \sec \theta = \frac{1}{\cos \theta} = \frac{\sqrt{d^2 + 4h^2}}{2h} \right)$$

と計算される。

臨界周波数 f_c [Hz] はイオン数密度 N [個/ m^3] で決まる $f_c = 9\sqrt{N}$ [Hz]



(5) フレネルゾーンの計算

送受信点間を結ぶ直線上で、一方の局から d_1 、他方から d_2 の距離にある地点の第 n フレネルゾーン半径 R_n は、波長を λ として、下記の式で計算する。

$$R_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}}$$