

## 無線機と通達距離

無線機を持つと通信距離がどの位まで届くだろうかと考えると思います。そして出力が多いほど届く距離、即ち伝播距離は延びると思われると思います。しかし出力を増やせば、それに比例して延びるものではありません。

それには大きく次の要素が関係しています。

1つは見通し距離で、これは地球が球体である為に、アンテナの高さが低いと見通し距離が短くなり、電波伝搬も阻害されます。これは使用する周波数帯にも関係します。誰にでも免許が要らずに使える特定小電力の無線機に割り当てられているUHF帯やSHF帯の中の周波数帯は、光と似たような特性を持っているので、見通しが悪いと通信距離も阻害されます。従って出来るだけ電波を出すアンテナは高いほうが良いのです。

もう1つは送信出力ですが、通信距離は、出力の平方根に比例して延びるので、出力を4倍にしても理論上は2倍しか延びません。通信距離を延ばしたいならば、アンテナ利得を高くして、高いところに設置し、S/N比の良い高利得の受信機で受信するのが、一番効果的な通信距離を延ばす方法です。

それではその理論について、お話いたします。

以下にお話するのは、非常に込み入った式を使って計算するのですが、実際は計算ソフトがあるので、必要なパラメータを入れて簡単に任意の距離の電界強度を求める事ができます。通信距離を求める為には、必要とする距離は見通し距離以内だろうか、これを最初に求めて、見通し距離以内である事を確認してから、電界強度を求めます。

### 1) 見通し距離の求め方

見通し距離を求める式は、次の通りです。

$$R = 2.23 \left( \sqrt{h_1} + \sqrt{h_2} \right) \quad (\text{NM}) \quad (\text{海里}) \dots \dots \dots (1)$$

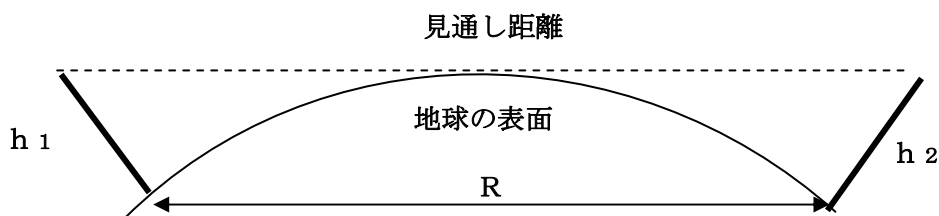


図1) 見通し距離の計算

これからアンテナの海拔の高  $h_1$ 、もう一方のアンテナ高さを海拔  $h_2$  とすると、見通し距離  $R$  が (1) 式で求められます。

(1) 式にアンテナの高さ  $h_1$  と  $h_2$  に其々の高さを入れて計算してみます。

h 1 に 2 m、h 2 に 1 0 m を入れて計算してみます。この高さ h 1 は、容易に設置できる高さ、h 2 は、作業船上のアップーブリッジの上に設置した場合を想定した場合で、見通し距離は、どの位になるでしょうか。

$$R = 2.23 \left( \sqrt{2} + \sqrt{10} \right) = 2.23 (1.42 + 3.18) = 10.3$$

10.3 NM ですから、これをメートルに変換するには 1 NM = 1853 m ですから

$$10.3 \text{ NM} = 19,085 \text{ m}$$

約 20 km まで見通せるという事になりますので、この範囲ならば、地球の曲面は、障害にはならない事がわかります。

## 2) 使用する無線機

さきほどお話した特定小電力無線機を使用します。

この特定小電力無線で割り当てられている周波数帯は、代表的なものは 429 MHz 帯と 2.4 GHz 帯があります。

ここでは 429 MHz 帯の特定小電力無線についてお話しますが、理論は全く同じで、使用する周波数帯が違うので、計算する時周波数とその波長が違いますが、2.4 GHz でも同様に計算できます。

弊社が販売している特定無償電力無線の MODEL DT5000 のスペックを元にデータを使用します。

使用する送信機は型式検定に合格した製品ですので、これはなんら手を加える事は電波法で禁じられていますから、これはそのまま使用します。

送信機の使用周波数帯は 429 MHz の中の一波を使用します。

送信出力は 10 mW で、送信機のアンテナ利得は 2.14 dB のものを使用します。

## 3) 見通し距離内での海上での電波伝播

### 3. 1) 電波伝搬計算式の説明

見通し距離内では、地球の球面の影響は極めて少ないですが、それらも考慮した電波伝播について、任意の地点での電界強度を求める計算式を図 2) により求めます。この曲面を有する図を平面に変換して、それから電界強度を求めます。

まず曲面を平面に変換するための図は図 2) で、平面大地に変換する式は、地球の半を R (6370 km)、等価半径係数を K(1.333...)、球面大地上のアンテナ相互間の距離を d とすると、球面の経路を平面大地上の伝播路に変換するための式は、式 2) によって行っても大差ないのでその近似式で行います。

図 2) を参照しながら以下の計算式を見てください。

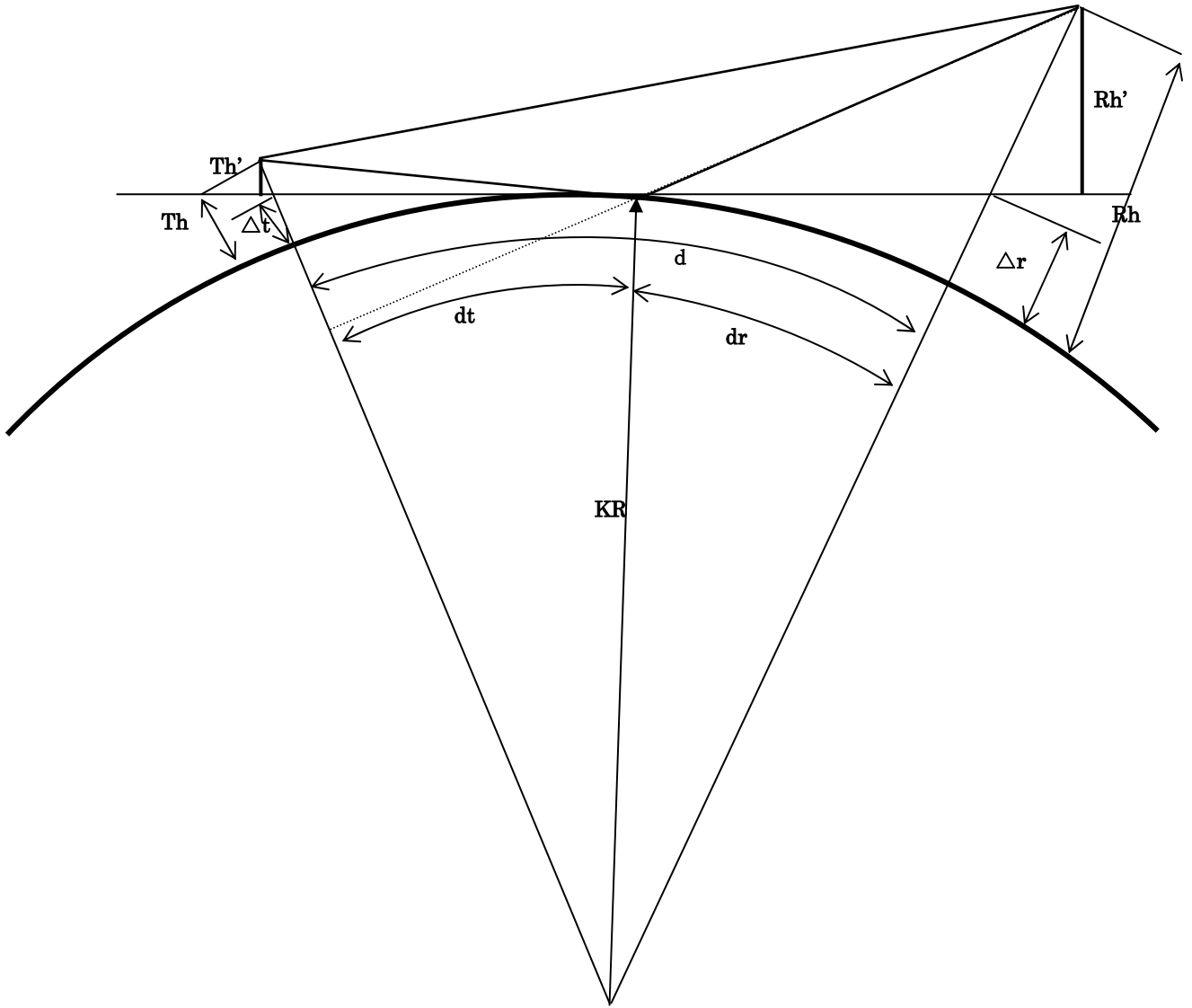


図 2) 地球の一部、曲面を平面に変換する為の図解

まずアンテナの有効実行高さを求めます。その為に、球面上にあるアンテナを等価な平面状にあるアンテナ高さに変換します。

図 2) は、見通し距離内で球面大地を平面伝搬経路に変換する説明図です。

$R \gg dt$ 、 $R \gg Th$ 、 $R \gg dr$ 、 $R \gg Rh$  ですから、

$$Th' = Th - \Delta t \doteq Th - (dt / 2KR) \dots \dots \dots (2)$$

$$Rh' = Rh - \Delta r \doteq Rh - (dr / 2KR) \dots \dots \dots (3)$$

ですが、近似的には、

$$Th' \doteq Th$$

$$Rh' \doteq Rh$$

として計算しても殆ど影響ないので、実際の計算では、海拔で求めたアンテナの高さをその

まま使用して計算します。

この高さをアンテナの有効実効高さとして、以下の計算を進めます。

$T_h$  に設置した送信アンテナと  $R_h$  に設置した受信アンテナの其々の絶対利得  $G_t$  と  $G_r$  とします。

送信機の出力を  $P_t$

送信アンテナの絶対利得を  $G_t$

送信機と受信機間の距離を  $d$

使用周波数帯の波長を  $\lambda$

としますと、受信点に於ける電界強度  $E_r$  は

$$|E_r| = \{2\sqrt{30 \cdot G_t \cdot P_t} / d\} \sin(2\pi T_h \cdot R_h / \lambda d) \text{ (V/m)} \dots (4)$$

この  $d$  地点での電力、それをポインティング電力と呼びますが  $P_r$  は、

$$P_r = E_r^2 / 120\pi \text{ (W/m}^2\text{)} \dots (5)$$

受信機が受信できる有能受信電力  $P_a$  は、受信アンテナの実行開口面積を  $A_e$  としますと

$$P_a = A_e \cdot P_r \text{ (W)} \dots (6)$$

$d$  Bmでは

$$P_a = 10 \log(A_e \cdot P_r \cdot 10^3) \text{ (dBm)} \dots (7)$$

以上の式から、受信点に於ける受信アンテナに誘起されるアンテナ開放電圧  $V_a$  は、

$$V_a = \sqrt{4 \cdot Z_r \cdot P_a} \text{ (V)} \dots (8)$$

デシベルでは、

$$V_a = 20 \log(\sqrt{4 Z_r \cdot P_a}) \text{ (dB}\mu\text{)} \dots (9)$$

ここで、 $Z_r$  = 受信アンテナのインピーダンスと受信機の入力インピーダンス  $Z_i$  が等しいものとします。

$$Z_r = Z_i = 50 \Omega$$

この様にして距離  $d$  m地点での受信アンテナの開放電圧  $V_a$  を求め、その電圧が入力インピーダンス  $Z_i$  の受信機に引加されるので、受信機に実際に入力される電圧  $V_i$  は

$$V_i = V_a / 2 \dots (10)$$

になります。この電圧が受信可能なレベル以上であることが重要です。このレベルは、受信機が有する内部雑音と受信地点における外来雑音のレベル以上であることが必要です。そのレベルは少なくとも10倍以上、デシベルで表せば20 dB以上ある必要があります。

ここでもう 1 つ求めなければならないのがあります。  
それは反射波による影響です。図- 2) を平面な図に書き直したものが図- 3) です。

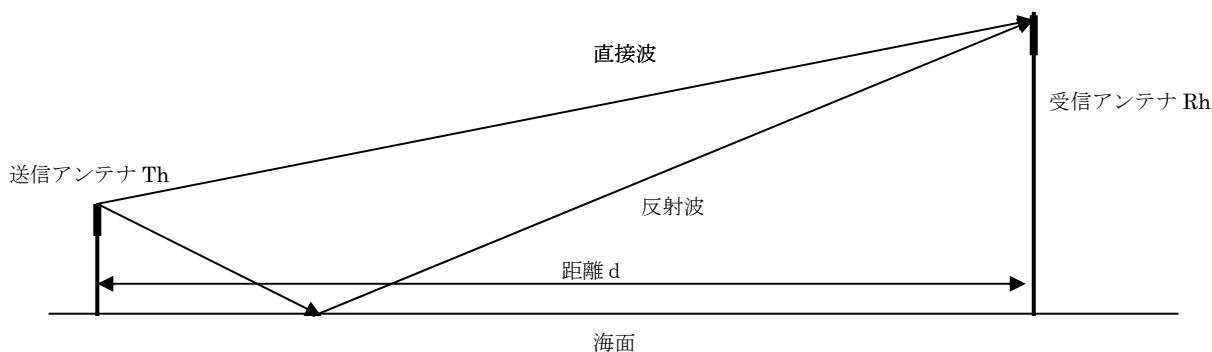


図- 3) 受信地点での電波は直接波と反射波の合成の図解

受信地点の受信波は、図- 3) の様に、直接波と反射波の合成です。  
4 式の S i n の項がそれを表しています。  
判りやすく言えば、直接波と反射波は、強調しあったり、打ち消しあったりしているのです。  
それは距離 d によって強調しあう地点と打ち消しあう地点とがあるのです。  
その地点を求める必要があります。以下にその説明を行います。

### 3. 2) 海面反射が電界強度に与える影響

電界強度は、( 4) 式で表されるが、海面反射による影響が S i n の項により、 $\pi / 2$  の奇数倍で 1 になり、偶数倍で 0 になる為に、奇数になる距離では電界強度は最大になり、偶数になる距離では最小になるのです。  
この現象は、アンテナの高さが低いと、送信点に近い所で発生し、高いと遠い所で発生します。言い換えれば、アンテナが低いと最小点の影響は受けやすく、アンテナが高いと最小点の影響は受けにくくなるのです。 即ち、

$$\text{S i n} ( 2 \pi \text{Th} \cdot \text{Rh} / \lambda d ) = ( \pi / 2 ) n \dots\dots\dots ( 1 1 )$$

( 1 1) 式の S i n の項を取り出して

$$2 \pi \text{Th} \cdot \text{Rh} / \lambda d = ( \pi / 2 ) n \dots\dots\dots ( 1 2 )$$

とおくと、( 1 2) 式は、n が奇数の時、S i n の項は最大で 1 になり、n が偶数の時は S i n の項は最小で 0 となり、そのようになるのは、この式で変化するのは距離 d ですから、その時距離は、次の式で求められます。

$$d = \frac{ ( 4 \cdot \text{Th} \cdot \text{Rh} ) }{ \lambda } \frac{ 1 }{ n } \dots\dots\dots ( 1 3 )$$

( 1 3) 式に、アンテナの高さと波長を入力して、n = 1, 2, 3 … と入力すると最大点の距離と最小点の距離がもとまります。  
波長  $\lambda$  は、次式で求めます。



ここでは送信アンテナの高さを10m、受信アンテナの高さを2mとしてありますが、これはその逆でも差し支えありません。

減少する点は、57m、29m、20mの地点です。電界強度が強いので、その影響は受信に障害が出るレベルまでは減少しません。

このような電波伝搬ですが、実際にDT5000でGPSの補正情報を伝送してRTKとしてGPSを使用した場合の最大通達試験では5.3kmで十分機能した実績を有します。

### 3. 3) 電波伝搬に障害を与えるもう1つの問題

これは特に陸上での見通し距離の地点で起きる問題で、電波伝搬の経路に見通しは出来ているが障害物がある場合に起きる問題点です。

それは次ぎの図5)のような場合です。

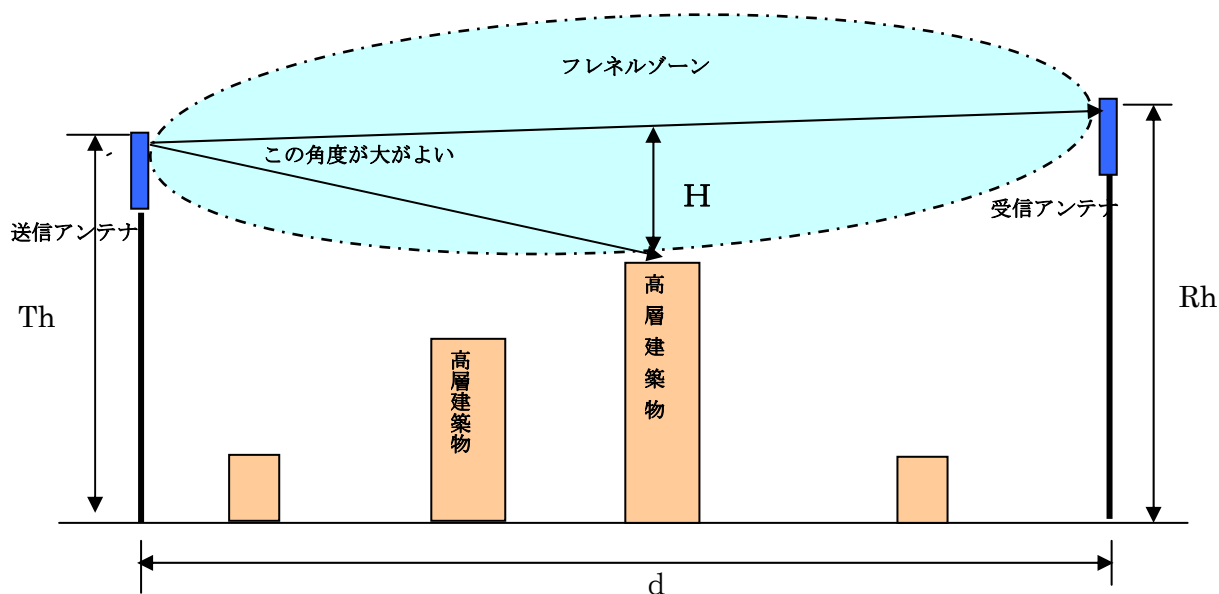


図5) 電波伝搬経路内に障害物がある場合

図5)で障害物と電波伝播の経路との差 $H$ との間には次のような式が成り立つ場合です。

$$H = \frac{1}{2} \sqrt{\lambda \times D} \quad (\text{単位m}) \dots \dots \dots (15)$$

このような場合は、電波伝搬が阻害されて、見通しているはずなのに、それ程電波伝搬がよくない事が起きますので、見通しの中の $H$ の範囲に障害物が入らないようにアンテナ高さを選ぶ必要があります。

この他アンテナの特性、受信機の特性等も電波伝搬に関係しますが、ここでは省略します。