

ミリ波は何故飛ばないか

ミリ波が飛ばない理由としてよく言われているのは例えば、

- ・大気や降雨による減衰が大きい
- ・直進性が強く、後ろに回り込みにくい
- ・周波数が高いので送信アンプの出力 up が困難、位相雑音も大きく信号品質が悪い

等々ですが、あまり前面に出て来ないもう一つ大きな要因があると思います。それは、

「同じ種類のアンテナで比較したとき、その実効開口面積は周波数の 2 乗に反比例して小さくなる」ということです。代表的なアンテナとして半波長ダイポールアンテナを例にとって以下に説明します。

アンテナの実効開口面積とは、そこを通過する電波の電力を取り出せる断面積のことです。半波長ダイポールアンテナでは図 1 のように概ね $\lambda/2 \times \lambda/4$ の長方形くらいの面積になります。周波数が例えば 3GHz の場合 $\lambda=10$ cm ですから、実効開口面積の長方形は 5 cm \times 2.5 cm 程度です。ところが周波数が 30GHz になると、これは 0.5 cm \times 0.25 cm、小指の先より小さな面積を通る電波しか拾えないので、当然ながら受信電力は大幅にダウンします。

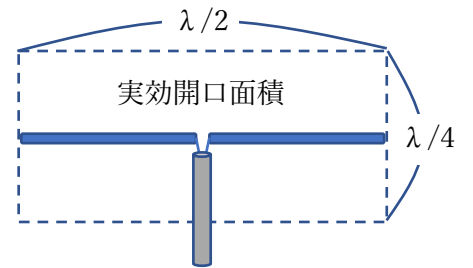


図 1 半波長ダイポールアンテナの実効開口面積

それならミリ波で、もっと実効開口面積の大きなアンテナを使えばよいのでは？という疑問も出るかもしれません。確かに 30GHz でも例えば図 3 のような多数の素子から成るアレーアンテナとかパラボラアンテナを使い、3GHz と同じだけの実効開口面積を確保すれば、受信電力を同じにすることは出来ます。しかしそのようなアンテナの指向性は(説明は省略しますが)非常にシャープになるため、固定の 2 地点間を飛ばす用途なら構いませんが、携帯電話のように四方八方の電波を待ち受けなければならぬ機器で使うことは難しいでしょう。

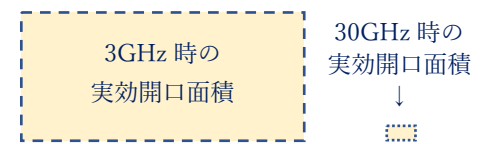


図 2 実効開口面積の比較

フリスの公式でもこの辺りを確認してみましょう。

$$Pr = Gr \cdot Gt \cdot Pt \cdot \frac{1}{L} \quad L = \left[\frac{4 \pi d}{\lambda} \right]^2$$

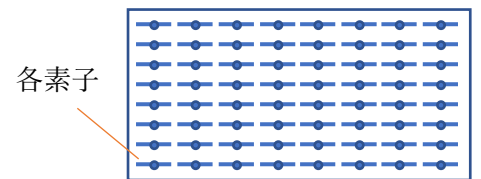


図 3 平面アレーアンテナ

Pr:受信電力 Gr:受信アンテナのゲイン Gt:送信アンテナのゲイン Pt:送信電力 L:自由空間伝搬損失 d:送受間距離

フリスの公式は上式の通りで L は自由空間伝搬損失です。式から分かるように自由空間伝搬損失は $1/\lambda$ の 2 乗、従って周波数の 2 乗に比例して大きくなります。このように書くとまるで周波数が高いほど早く電波が減衰するかのような印象ですが、そんなことはありません。例えば球面波の場合、その表面積は距離の 2 乗に比例して広がるので、単位面積当たりのエネルギーである電力密度は距離の 2 乗に反比例して小さくなります。これは距離だけの関数であり周波数とは無関係です。自由空間伝搬損失という名称で定義された物理量が、周波数の 2 乗に比例して増えるということです。

フリスの公式をもう一度見ると、分子側に受信アンテナのゲインの項があります。先程、実効開口面積を大きくすると指向性がシャープになると書きましたが、アンテナにおいては、指向性がシャープであることとゲインが高いことは等価です。分母側の L が周波数と共に大きくなっても、実効開口面積を増やして受信アンテナのゲインを上げれば受信電力を確保出来ることが、フリスの公式からも分かります。しかしその場合、指向性がシャープになり過ぎて携帯電話に向かないことは前述の通りです。

では何かいい方法は無いか？ですが、例えば携帯電話の全周に多数のアンテナ素子を配置するとします。その受信信号を全て AD 変換し、Weight 演算を行って全方向のビームスキャンを短時間に実行し、ビームを所望の電波に向けるようにすれば、基地局の電波を十分な受信電力で捕捉することも原理的には可能でしょう。しかし、現状のデバイスの価格・性能・サイズでは実現は難しそうですね。

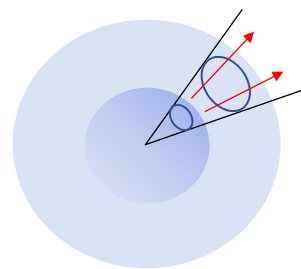


図 4 電力密度の減衰