

## 電力束密度計算について

2019. 6. 18/7. 9, 14 憂慮する山口の科学者

5月末に防衛省が山口県で説明した「各種調査の結果と防衛省の検討結果について」(以下、5月報告という)の12頁には、次の電力束密度の式が与えてある。

$$S = \frac{P \cdot G \cdot D}{40\pi R^2} \times K \quad \text{①}$$

ここで、Dはサイドローブがメインビームより弱くなる割合を与えており、Kはサイドローブの一部は地表からの反射を考慮した $K=2.58$ を使う。

防衛省は、P, G, Dの数値は公表できないとしながら、その積は

$$PGD=2,581,659=2.58 \times 10^6 \quad \text{(ア)}$$

であるとして、レーダーからの距離Rを代入することにより、5月報告の14~24頁の評価をしている。但し、電子機器の場合は、電磁耐性(電界強度)E [V/m]がJIS規格などで規定されているので、16頁などでは

$$S = \frac{E^2}{3770} \quad \text{②}$$

の関係式でEをSに換算してから、①式で評価している。

さて、5月報告の24頁までと25~28頁の記述には、意図的に省かれているのか、論理の飛躍がある。すなわち26頁のヘリコプターに対する電磁耐性基準 200V/mを②に代入すると $S=10.61$  [mW/cm<sup>2</sup>]となるので、①より $R=7.07$ mとなって、26頁にあるような2475mとは全く異なる。その理由は、ヘリコプターに当たる電波はサイドローブではなく、メインビームであることを考えて評価しなければならないからである。繰り返すと、24頁までは①式を使っているのに、サイドローブの電波の強さから計算した。しかし25頁からはメインビームの電波の強さで計算しなければならない。では、その式は?というところ

$$S = \frac{P \cdot G}{40\pi R^2} \quad \text{③}$$

であるはずである。

実際、26頁の $R=2475$ mと、 $S=10.61$ を③に代入すると

$$P * G = 8,167,265,000 \quad \text{(イ)}$$

を得る。(ア)の値との比が、①式のDであるので、その大きさは次のようになる；

$$D = 1 / 3163.57。$$

中途半端な数のようだが、デシベルで表現すると、ちょうど

$$D = -35 \text{ dB} \quad \text{(ウ)}$$

となる。防衛省が米国からこの35 dBと言うキリのよい数値の提供を受けていると推察できる。

この推論が正しいことは、25頁の航空機の場合に当てはめるとよくわかる。

$$S = 8167,265,000 \div (40\pi 4949^2) = 2.6536$$

となり、②でEに換算すると

$$E = 100.02 \quad [\text{N/m}]$$

となって、5月報告の25頁の図の下の数値100V/mと一致している。

以上のことを使うと、メインビームに人が曝されるような場合；例えば、防災ヘリコプターでつり上げられている人、窓からそとに頭を出しているヘリの乗員、パラグライダー、では $1\text{mW}/\text{cm}^2$ の安全基準を満たすには $R=8062\text{m}$ が必要となる。今後、国土交通省はこの半径内を飛行制限区域に指定する可能性がある。(6月8日の明倫学舎における緊急学習会での資料)

残る量はアンテナゲイン $G$ である。これが分かれば(イ)より $P$ が分かり、どれだけの電力を消費することになるかが推定できる。

イービス・アショアのアンテナゲインは明らかにされていないが、イービス艦のフェイズドアレイアンテナSPY-1については、Wikipediaに記載がある。すなわち、メインビームは幅が $1.7^\circ \times 1.7^\circ$ のペンシルビームであると。

そうすると、サイドローブなどを無視した理論上のゲインの上限は、電力のすべてが開き角 $1.7 \div 2 = 0.85$ 度の円錐状に電波として放射されると考え、立体角の比で与えられる。すなわち

$$G = \frac{4\pi}{2\pi(1-\cos\theta)} \quad (\text{エ})$$

に $\theta = 0.85$ 度を代入して、 $G=18,175$ である(42.59 dBi)。今、少し控えめに42デシベルとすると、(イ)より最大電力の時間平均は

$$P = 515,320 [\text{W}] = 515 [\text{kW}] \quad (\text{オ})$$

となる。

一方、イービス艦のSPY-1ではこの値は64[kW]と記されているので、イービス・アショアは8.05倍強力な電波出力となる。SPY-1では最大探知能力は500kmとされている。距離の二乗で電波密度は弱くなることを考えれば

$$500 * \sqrt{8.05} = 1400 \text{ km}$$

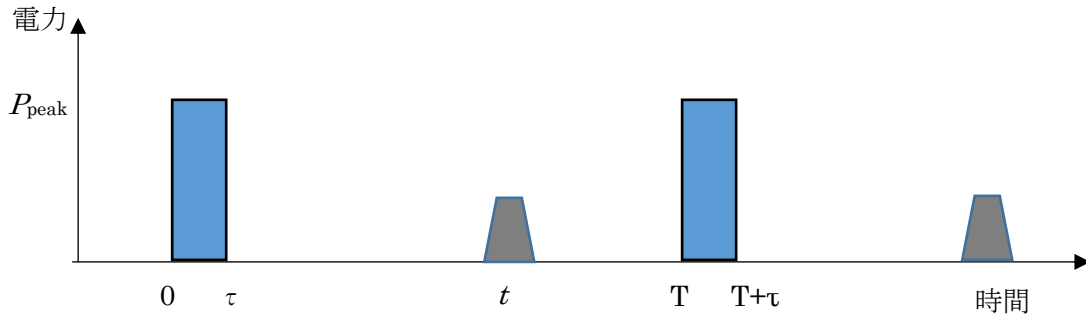
というのがイービス・アショアの探知範囲であろうか。むつみからは北朝鮮全土は1000kmの範囲である。秋田からは1300km必要であるので、妥当な数値である。

メインビーム幅を絞れば $G$ は大きくなって、より少ない電力で済む。しかし、ビーム幅が狭すぎると探知漏れを起こすこともあるし、そもそもの光学的分解能以下に絞っても意味がなかろう。そういう意味で、以上は妥当な見積もりと考える。

(なお、42.59dBiというのは単純な仮定での最大値であり、実際は40dBi~35dBiか？その場合 $P$ はもう少し大きい値となる)。

## 平均電力 $P$ と最大電力（尖頭値） $P_{peak}$

レーダー電波は図のように間欠的に発せられる。



時間 0 から  $\tau$  秒間、3GHz の波を送出する (図では箱で表示)。  $\tau$  をパルス幅、電力を尖頭電力あるいは最大電力で  $P_{peak}$  という。送出された電波は目標物に反射して、  $t$  秒後に戻ってくる。伝播の速度を  $c$  とすると、目標物までの距離  $L$  は

$$L=ct/2 \quad \text{①}$$

である。例えば、目標物が 1,000km 先であるとエコーが戻るのは 0.0067 秒後である。エコーが戻ってから次のパルスを送るので、パルス間隔  $T$  は探査する距離で決まる。エコーは  $L$  の二乗に反比例して弱くなるので、最大探知距離は  $P_{peak}$  の値と受信感度で決まる。

総務省の手引きでは、電波が人に与える熱効果に関しては最大電力値ではなく、時間平均値で評価されている。上の記号を使って、電力の時間平均は

$$P=P_{peak} * \tau / T \quad \text{②}$$

である。

イージス・アショアのレーダーの諸元は明らかではないが、イージス艦に搭載の SPY-1 レーダーについては、Wikipedia に次のように記載されている

最大電力  $P_{peak}=4\text{MW}$ , 平均電力  $P=64\text{kW}$   
 パルス幅  $50.8\mu\text{s}$  および、その  $1/2$ ,  $1/4$ ,  $1/16$

②と①の関係から、パルス間隔と探知距離は次表のようになる。

$\tau$ [ $\mu\text{s}$ ]	50.8	25.4	12.7	6.4
$T$ [ms]	3.175	1.588	0.79	0.40
$L$ [km]	476	238	118	60

ここで、平均電力は 64kW で一定、すなわち、長距離では幅の広いパルスを出すことで遠くからのエコーをしっかりと捉え、近距離では短パルスを出して目標物の移動を逐次追尾していることになる。なお、イージス艦の最大探知距離は 500km と言われている。

イージス・アショアでは前ページの(オ)のように、 $P=515\text{kW}$  とし、 $\tau=200\mu\text{s}$ 、 $T=10\text{ms}$ 、 $L=1500\text{km}$  ならば、 $P_{peak}=25\text{MW}$  であればよい。アンテナゲインが 40dB なら  $P\sim 800\text{kW}$ 、 $P_{peak}\sim 35\text{MW}$  位ではなかろうか。

## 余談

イージス・アショアのレーダー一面の前 50m で、鳥がメインビームを浴びたらどうなるか？

③式より  $S = \frac{8.167 \times 10^9}{40\pi 50^2} = 2.6 \times 10^4 \text{ mW/cm}^2$  という評価は誤りである。②式はレーダー一面から離れた箇所で使える式である。近くでは、面積  $A [\text{m}^2]$  のレーダー一面から一様に  $P$  の電力の電波が放射されると考えるとよいだろう。すなわち

$$S = \frac{P}{10A} \eta \quad (\text{カ})$$

のように、平行ビームの電波が出ていくと考えよう。  $\eta$  はアンテナの特性及び波長に依存した係数であるが、わからないので、以下、1 としておく。アンテナから離れて、電波が 1 点から放出されるとみなされると、③式に移行する。具体的にアンテナの直径を 4m で、G は 40dBi とすると、100m より遠くでは③でよかろう。<sup>注</sup>

したがって、50m 先の鳥には  $S = 817,000 / (40 \times 3.14) = 6,500 \text{ mW/cm}^2$  のエネルギーが照射される。直径 4m の電波ビームを 1 秒で横切ると、 $6.5 \text{ J/cm}^2 = 1.6 \text{ cal/cm}^2$  のエネルギーに相当する。これをすべて吸収すれば、身体の比熱を 1 としても各部位の体温が 1 秒間で 1.6 度上昇する。すぐに飛び去ればよいが、留まっていると数秒で熱症になるだろう。

6 月 18 日の NHK ニュースによると、参議院外交防衛委員会で岩屋防衛大臣は、周囲 50m に 10 分間いると、「体温が上がる症状が出る可能性があり、身体に異変を生ずるおそれがある」と述べたというが、さもありません。

注 別の評価は、直径 4 メートルの円柱ビームと、半値幅 1.7 度の円錐ビームのクロスする位置で

$$L = 2 / \tan 0.85 = 1.35 \text{ m}$$

となる。円錐ビームの開き角を倍にとると 67.4m。100m という評価はまんざらでもなかろう。

---

---

## 結語

1：サイドローブよりも数千倍も強いメインビームは決して地面や山、人に向けてはならない。メインビームといえども数度の拡がりがあるので直射でなくても、数百m の近隣では影響は無視できない。防護壁の設置やモニター設備だけでは十分とは言えない。そもそも、レーダーの前面にレーダーより高い土地があることが問題である。

2：電波の作用としては電子レンジと同じで、熱作用と電磁誘導がある。後者は電子レンジにアルミ箔などが付いた物を入れると、火花を発生したり、発火する作用である。電子機器はパルス電場で破壊するので、時間平均電力ではなく、それよりも 50～80 倍おおきな電力の尖頭値で電磁耐性が評価されるべきである。