

## レーダービームの拡がりについて

2019年7月6日 憂慮する山口の科学者

政府は2017年12月の閣議で弾道ミサイル防衛のために地上配備型迎撃システム、イージス・アショアを2基導入することを決めた。防衛省は日本海側に見通しが開けた平地で十分な広さがある陸上自衛隊の土地、秋田市の新屋演習場、萩市のむつみ演習場を候補地として現地調査を行い、その結果を5月末に適地調査報告書として公表した。

これに対して、候補地に挙げられた地元からは、本当に適地なのか、他にあるのではないかという異論が出されている。そんな折、防衛省が秋田に示した適地調査報告書の記載の誤りがあったと報道された。すなわち、新屋演習場以外の代替地について、レーダーの障害となる周囲の山までの角度を過大に記載することで適地ではない(15度の記載が実際は4度など)としていた。

一方、5月28日の山口県への防衛省の適地調査報告書では、69頁においては周辺の西台を念頭に、仰角5度以上とすればメインビームが地表に当たることがないかのような記載となっている。69頁の断面図は小さくて解像度が悪いのではっきりしないが、レーダーの位置から北に500m以内の所にある西台576mが仰角を決めていると書いている。

すでにマスコミで報じられたように、防衛省はこの576mは実測ではなく、秋田と同様にグーグルアースを使った机上の見積もりだったと認めた。そして7月3日には岩屋防衛相が県庁を訪れ、県知事らに謝罪した。

一部に、数メートルの違いは大勢に影響しないという意見もある。また樹木の高さを加算すれば、もっと高くなるという見解もある。いずれにせよ、レーダーの前面に障害物があるという立地は異常なことであり、その影響がどんなものなのかはきちんと評価しないといけない。実際、440m先の1mの高さは仰角 $0.13^\circ$ 、7.7mで $1^\circ$ であるので、数mといえども無視はできない。そこで、むつみ演習場に隣接する丘陵地、西台がレーダービームにどれほどの障害になるのかを検討する。

国土地理院の電子地図ではレーダー予定地のほぼ北に574mを表示する地点がある。防衛省の報告書の45頁の配置図からレーダーデッキの標高を524mとし、そこから574mの地点に向かって地図上で直線を引く。等高線との交点の水平距離を読み取り、仰角 $\theta$ を求めると表1のようになる。

表1 西台の標高とイージス・アショアのレーダー設置予定地からみた仰角 $\theta$

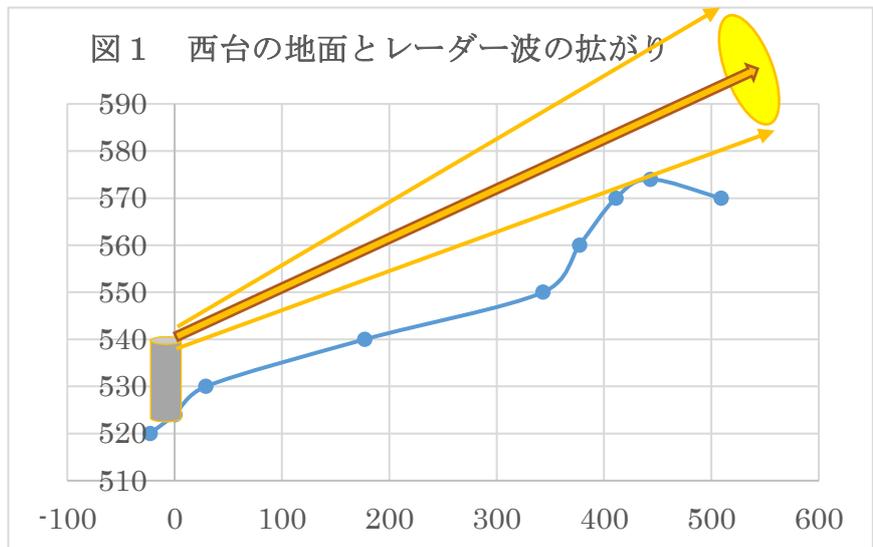
標高(m)	水平距離(m)	仰角 $\theta$ ( $^\circ$ )
574	443	6.44
570	411	6.39
560	377	5.46
550	343	4.33
540	177	5.17
530	29	11.69
524	0	0

レーダーデッキの建物の分だけ嵩上げされて、レーダーは地面から15mあたりにくるだろうから29m先の標高530mは障壁とならない。一方で、西台には樹木があること、および電波がスムーズに通るためにはフレネルゾーンと呼ばれる“電波の通り道”が必要なので、574mの最高地点

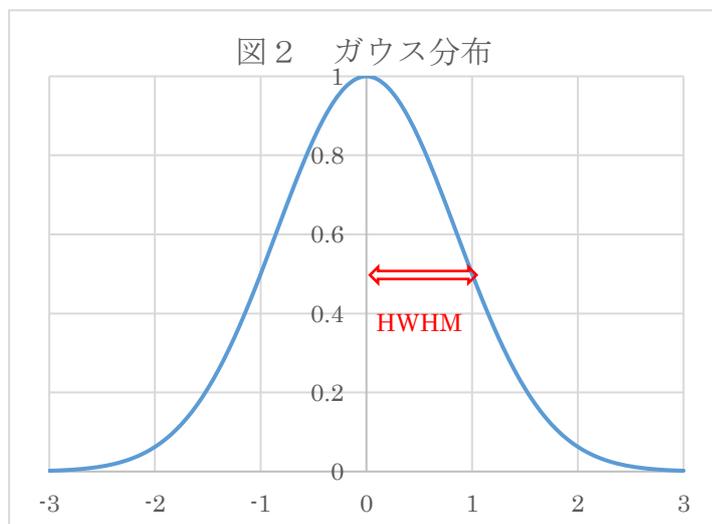
の 15m 上を電波の中心が通ると考える。したがって、表 1 の仰角  $6.4^\circ$  が最低必要な仰角と思われるだろう。

以上の考察をイラストであらわしたのが図 1 である。縦と横の尺度は異なるので、この図に角度器を当てても意味がない。表 1 の水平距離と標高の関係にレーダーデッキの高さと山頂にそれぞれ 15m を足した場合のメインビームの放射の最低角度を太い矢印で描いている。

さらに考慮しなければならないのは、メインビームには角度の広がりがあるということである。これは報告書の 69、72、74 頁のイメージ図でも描かれているところである。図 1 ではこれを細い矢印で示した。



メインビームの強度は角度に対して急に弱まるのではなく連続的に変化している。イージス・アショアのメインビームの広がりについては防衛省の報告書は何も触れていない。そこで、イージス艦のレーダー SPY-1 と同程度だとしよう。Wikipedia によればそれは  $1.7^\circ$  である。この  $1.7^\circ$  の角度の外で電波強度は急にゼロになることはなく、一般的には図 2 に示すガウス分布のような広がりを持つと考えられる。図 2 には中心強度を 1 としている。横軸の角度は強度が半分になる幅 (HWHM; 半値半幅) で規格化している。上述のように、イージス・アショアのビームの幅が  $1.7^\circ$  だとすると、図 2 の横軸の 1 が半値半幅  $0.85^\circ$  に相当し、そこでの強度は  $1/2$  となる。



こうして、中心から  $1.7^\circ$ 、 $2.55^\circ$  外れたところの強度はそれぞれ  $1/16$ 、 $1/512$  となる。サイドローブの強度は 35 デシベル弱いということで、このレベルになるのはセンターから  $2.90^\circ$  である。(サイドローブ自体はもっと外側)

結論として、西台にあたるメインビームの裾野がサイドローブ並みに弱くなることを要請すれば、レーダービームの照射の中心方向の仰角は西台の障害物の仰角よりもさらに  $3^\circ$  余計にとらなければならないということだ。仰角  $5\sim 9^\circ$  でレーダーを運用すると、強力なメインビームの裾野が西台の山頂に反射・散乱し、サイドローブよりも深刻な電波障害を引き起こす危険性がある

結論として、西台にあたるメインビームの裾野がサイドローブ並みに弱くなることを要請すれば、レーダービームの照射の中心方向の仰角は西台の障害物の仰角よりもさらに  $3^\circ$  余計にとらなければならないということだ。仰角  $5\sim 9^\circ$  でレーダーを運用すると、強力なメインビームの裾野が西台の山頂に反射・散乱し、サイドローブよりも深刻な電波障害を引き起こす危険性がある

ということになる。

すでに指摘されているが、むつみから仰角  $10^\circ$  で探知できるのは北朝鮮中部の高度 190km 以上の高空である。弾道ミサイル発射 2 分近くたって、ようやく視界に入ることになる。そんなことで本土防衛は出来るのか？ 萩市むつみ演習場は適地とは思えない。もし、あくまで西台すれすれにレーダー電波を発するのであれば、少なくともむつみ演習場に面している西台の面は防衛省が接收し、全面立ち入り禁止にすべきである。こういうことを述べることなく、電波は人体や住民の生活に影響を与えませんというだけでは、無責任のそしりは免れない。

もし上記の説明が間違っているというなら、イージス・アショアに使用するレーダー LMSSR の諸元、とりわけ、サイドローブを含む放射パターンを明示すべきである。

連絡先： yama40818@gmail.com

付録 図 2 のガウス分布について

イージスのレーダーでは数千個の素子から発せられる電波に位相差を与えることで、任意の方向に幅の狭い電波を放射する。このように数多い素子から発せられる電波を合成すると統計的なばらつきが避けられず、その結果、強度分布がガウスのようになるというのは一般的な現象である。

ガウス分布を想定すると、放射電波の中心方位から  $\theta$  からずれた方角での強度は

$$\exp\left(-\frac{\theta^2}{2\sigma^2}\right) = \left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{\theta}{\Delta}\right)^2 \quad (*)$$

と表せる。左辺の  $\exp()$  は指数関数であり、分散  $\sigma$  のガウス分布であるとは見慣れた方も多いだろう。これが半値半幅  $\Delta$  を使った右辺と等価であることは、両辺の自然対数をとることで確認できる。ただし、

$$\Delta^2 = \sigma^2 2 \ln 2$$

の関係がある。以下、(\*)式の右辺の形で議論する。

本文中の図 2 では(\*)式の右辺を横軸に  $\theta / \Delta$  をとってプロットした。 $\theta = n\Delta$  で、強度は  $1/2^{n^2}$  ほど弱くなる。すなわち  $n=2, 3$  でそれぞれ  $1/16, 1/512$  となる。イージス・アショアのアンテナではメインビームに対してサイドローブの強度は  $1/3162$  ほど弱い(すなわち、35 ベシベル低い)と評価されているので、そのようになるのは

$$\frac{\theta}{\Delta} = \sqrt{\frac{3.5}{\log 2}} = 3.41$$

である。 $\Delta=0.85^\circ$  の場合は、この角度は  $2.90^\circ$  となる。すなわち、仰角  $8.0^\circ$  に設定しても  $5.1^\circ$  の仰角方向に、ピーク強度より 35 デシベル低いサイドローブと同程度の電波強度となっていると推論される。

防衛省の 5 月末の適地調査報告書によると、サイドローブの電波で評価すると、230m を超えると電波防護指針の基準以内だという。西台の頂まではこの 2 倍の距離だと見做すと、メインビームの裾野が  $4/3162$  の強度となる角度が電波防護指針の基準と言えよう。そうすると、ビームの中心から  $2.64^\circ$  ずれた角度がこれに相当する。仰角  $8.0^\circ$  に設定しても  $5.36^\circ$  の仰角方向で電波防護指針の基準となる。

**杞憂** 眼前の障害物からのゴーストエコーを避けるためには、障害物より  $5^\circ$  程度高い仰角をとるのが普通ではないだろうか。防衛省技術本部のチェックは通っているのだろうか？