

北朝鮮から発射されるミサイルを防御しなければならないとして、政府は陸上設置タイプの迎撃ミサイルシステム「イージス・アショア」を導入することを昨年12月に閣議決定した。H30年度予算には2基ほど設置する準備費が計上されている。そのうち1基の設置候補地に萩市むつみの陸上自衛隊演習場が挙がっており、山口県内は至る所その基地周辺地域になろうとしている。先月の南北朝鮮首脳会談で朝鮮戦争の終結・核廃棄の可能性が顕れてきている。しかし、イージス・アショアシステムは米軍と一体となったアメリカの極東戦略に組み入れられる気配であり、朝鮮半島が平和になろうとも、政府が計画を断念する事はないだろう。

ところで、このイージス・アショアのために日米共同で開発が進められている新型ミサイル「SM3ブロック2A」は1月末にハワイで行われた3回目の迎撃実験においても失敗している。弾道ミサイルを迎撃するとはどういうことなのか、何故に迎撃が難しいのか、迎撃できさえすればよろしいものなのか、さらに、いま何故、性急にイージス・アショアを導入しようとしているのか？軍事装備については全くの素人であるが、大学で力学の授業を長年担当してきた知識を元に、皆さんと一緒に考えてみたい。

目次

1. 弾道ミサイルとはどういうものか
2. 弾頭ミサイルを迎撃する3パターン
3. イージス・アショアと新型ミサイル SM3 ブロック 2A
4. ミサイルの被害を避ける道

- 付録 A 陸上自衛隊むつみ演習場
B 軍事評論家の懸念の紹介

1. 弾道ミサイルとは

弾薬(通常火薬、核爆弾、BC爆弾)を弾頭部に込めて、ロケットで大気圏外(宇宙)に打ち上げて、その後は弾頭を切り離して「弾道軌道」をとらせて、再び大気圏内に高速で突入させて標的地で弾頭を爆発させる兵器である。

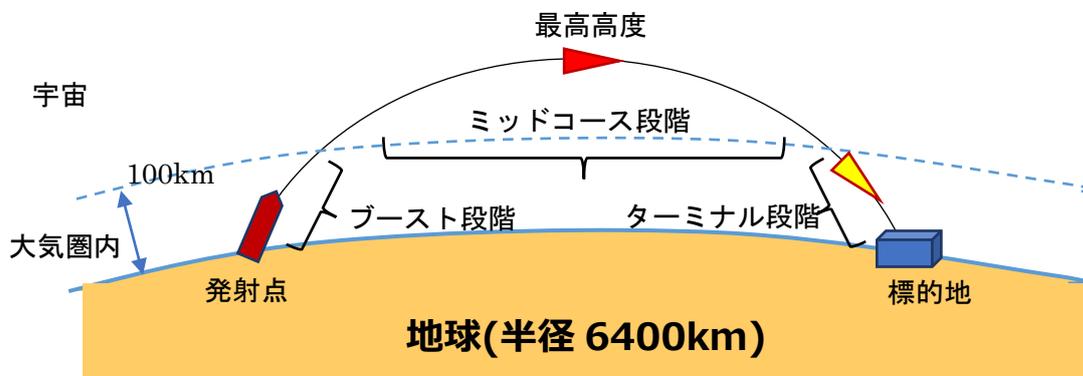


図1 弾道ミサイルの軌道と飛翔の3段階

ブースターロケットで加速して打ち上げられるブースト段階を経て、弾頭部は大気圏外で楕円軌道(弾道軌道)を描く(ミッドコース段階)。標的地に向かって大気圏内を降下していく過程をターミナル段階と呼ぶ。

弾道ミサイルはその到達距離に応じて、表 1 の 4 つに分類されることがある。

表 1 弾道ミサイルの分類

ミサイルの呼称	射程(km)	通常高度(km)	北朝鮮のミサイル
短距離弾道ミサイル	1,000 以内	50~250	スカッド(火星 5, 6)
準中距離弾道ミサイル	1,000~3,000	250~600	ノドン(火星 7)、テポドン
中距離弾道ミサイル	3,000~5,500	600~1500	ムスダン(火星 10)、火星 12
大陸間弾道弾 (ICBM)	5,500~	1000~	火星 14, 火星 15

弾道ミサイルの飛翔は図 1 に示すように 3 段階で記述される。

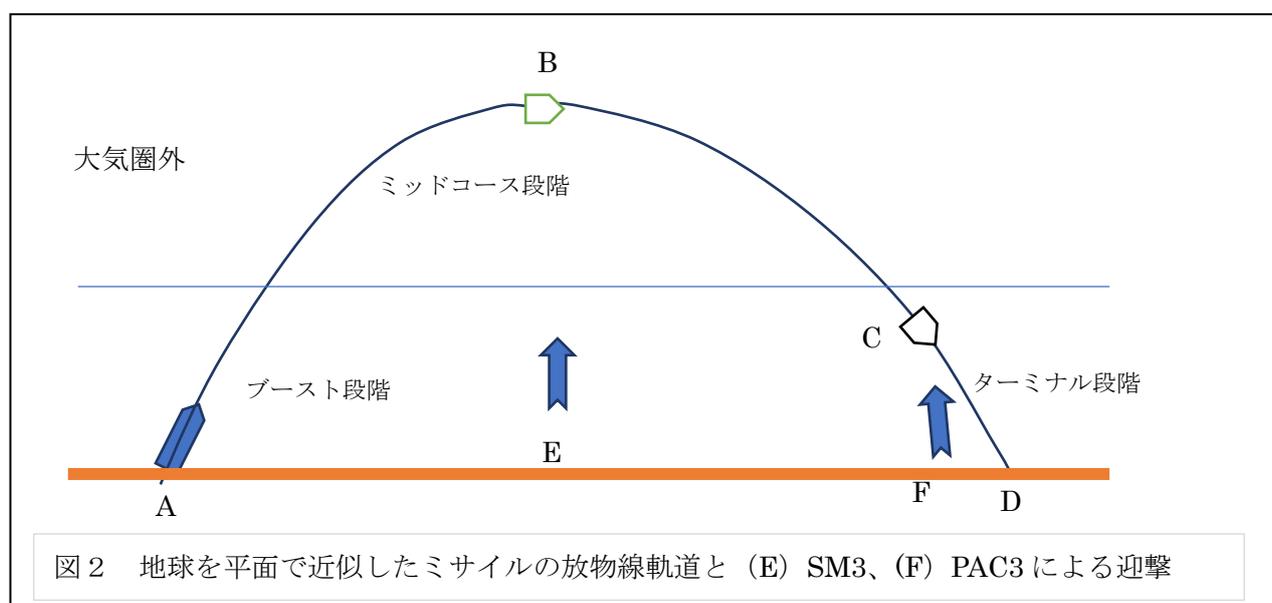
①ブースト段階 1 段あるいは 2 段のロケットで大気圏外に打ち上げる段階で、目標に達するように軌道修正しながら加速する。大気圏とはおおむね高度 100km 以下。

②ミッドコース段階 大気圏外では弾頭部(再突入体ともいう)は力学法則に従い、地球の中心に焦点をもつ楕円軌道に沿って飛んでいく。

③ターミナル段階 大気圏に再突入し、目標に向かって高速で落下していく。高度 50km 以下では空力加熱(断熱圧縮熱)が著しいので、中距離以上のミサイルの弾道部は断熱層で保護されており、再突入体と呼ばれる。ミサイルによってはこの段階で軌道修正や複数弾頭の分離放出をする。

軌道を模式的に描くと図 1 のようになる。人工衛星や太陽の周りを回る惑星では、中心天体が焦点であるような楕円軌道を周回する。弾道ミサイルの場合は、地球が大きいので、地上の発射点から飛び出し最高高度を経て、標的地で再び地表に達する楕円の一部が弾道軌道である。ミッドコース段階では力学的エネルギーと角運動量が保存していることより、打ち上げの初速度の大きさと打ち上げ仰角を与えると、惑星の運動の諸式を使って最高高度や到達距離などは容易に計算できる。なお、図 1 では大気の影響や、打ち上げ速度が徐々に加速されること、再突入時での大気による減速を無視している。

中距離弾道ミサイルや大陸間弾道弾では図 1 の楕円軌道であることが重要であるが、短距離弾道



ミサイルでは地球の曲率を無視して平面と考え、図 2 のように放物線軌道で近似的に表現できる。

高度が 100km 程度までは、重力加速度 g が一定としても誤差は 1 割以下である。点 A から初速

度 V 、仰角 θ で打ち出した物体の時間 t での座標と速度は次式で与えられる；

$$\text{水平位置と速度 } x = Vt \cos\theta, \quad v_x = V \cos\theta$$

$$\text{垂直位置と速度 } z = Vt \sin\theta - \frac{1}{2}gt^2, \quad v_z = V \sin\theta - gt$$

両式から時間 t を消去すると、 $z = x \tan\theta - \frac{g}{2(V \cos\theta)^2} x^2$ となるが、これが放物線の式であり、よく知られているように、仰角 θ が 45° の時、一番遠くまで飛び、到達距離 L や最高高度 H は

$$L = \frac{V^2}{g}, \quad H = \frac{V^2}{4g} = \frac{L}{4}$$

となる。

飛距離や高度についての具体例を、2, 3 示そう。

(i) 図 2 の AD の距離を平壤-岩国の $L=640\text{km}$ とする。仰角 45° で打ち出したの放物線軌道で評価する。

必要な初速 $V=2.5 \text{ km/s}$ 、最高点 B での高度 $H=160\text{km}$ 、B での水平方向速度 1.75 km/s
標的 D までの所要時間 6.0 分。 D 点に到達時の速度（空気抵抗を無視） 2.5km/s

(ii) 図 1 で打上げ点から標的までの距離 1500km （北朝鮮北部から東京まで）の楕円軌道
初速度 4.1 km/s 、打ち上げ仰角 58°
最高高度 600 km 、その時の水平速度 2.0 km/s 標的地への到達時間 7.0 分

(iii) 図 1 の標的までが $13,400\text{km}$ (地球 1/3 周)で最高高度での高度 $3,200\text{km}$ の楕円軌道の ICBM の場合

初速度 7.92 km/s 、仰角 30° 、最高高度での水平速度 4.57 km/s

こうした評価で言えることは、短距離弾道ミサイルはともかく、中距離ミサイルや ICBM をミッドコース段階で打ち落とすには、その中距離ミサイルや ICBM と同等程度の推進力を持つロケットが必要で、迎撃するのは容易にはないといえる。

2. 弾道ミサイル迎撃の 3 パターン

弾道ミサイルを撃墜するにはブースト段階が確実であるが、そのためには弾道ミサイルの発射地点のすぐ近くで迎撃ミサイルを発射するか、あるいは事前に発射を予知して戦闘機を飛ばして空対空ミサイルを撃つことになる。これは実戦的には不可能である。そこで、目標に向け降下してくるターミナル段階で迎撃するか、あるいは慣性軌道をとっているミッドコース段階で迎撃することになる。

(1) PAC3

ターミナル段階で迎撃するシステムがペトリオットであり、発射する迎撃ミサイル PAC3 は 1 段の固体燃料ロケットなので、射程は $20\sim 30\text{km}$ 程度しかない。弾道ミサイルの目標地周辺に配備し、落下してくる弾頭部にレーダー誘導で正面衝突させ、その衝撃で破壊する。この場合、迎撃に成功

しても破片が目標地付近の地上に降り注ぐことは避けられない。高速で突入する中距離弾道ミサイルに対しては、迎撃率は高くないと言われている。

前節の(i)の例では、着弾の 30 秒前に発射すれば、水平に 20km 離れた高度 20km 付近で迎撃できることになろう。わが国ではペトリオットシステムは航空自衛隊が運用し、C バンドレーダー(6GHz 帯；波長 5cm)を使用している。

(2) THAAD

ペトリオットの欠点を回避するために開発されたのが高高度防衛ミサイル THAAD である。弾道ミサイルが大気圏に再突入した直後に迎撃するため、最高高度が 40~150km、射程が 200km で最大 2.5km/s の速度を出せる 1 段式固体ロケットである。迎撃ミサイルから迎撃体を放出し、弾道弾を赤外線で検出し、軌道を修正して正面から激突して弾道弾を破壊する。米軍は THAAD を誘導するため、青森県車力と京都府経ヶ岬に X バンドレーダーを設置している。なお、この X バンドレーダー(9GHz 帯；波長 3cm)の探知距離は 1000km と言われ、その電波が航空機に支障をきたす虞があるので、経ヶ岬では半径 6km、高度 5800m の扇形範囲は飛行制限空域に指定されている。

前節の(i)の例では、着弾の 100 秒前に発射すれば、水平に 80km 離れた高度 75km 付近で迎撃できることになろう。標的地が岩国の場合、萩市須佐の上空となる。

(3) SM3 (ブロック 1A)

THAAD で迎撃できる射程の外のミッドコース段階の弾道ミサイル(弾頭部)を迎撃するのがイージスシステムの SM3 である。イージスシステムは元々、敵の航空機やミサイルから味方の航空機や艦隊を防御するために開発され、イージス艦(海自のこんごう、きりしま、みょうこう、ちょうかい)と呼ばれるミサイル駆逐艦に搭載されている。周辺空域にあるミサイルや航空機は S バンドレーダー(3GHz 帯；波長 10cm)で探知し、軌道を解析して 3 段の固体燃料ロケットである SM3 を発射する。最高高度 500km であり、短距離および準中距離弾道ミサイルに対処できると言われているが、迎撃の成功率については諸説がある。また、中距離弾道ミサイルや大陸間弾道弾は高高度を飛ぶので届かない。そこで、より射程を伸ばす改良が図られており、それが次に説明する SM3 ブロック 2A である。

前節の(i)の例では、弾道ミサイルの着弾 240 秒前の高度 140km 付近を飛来しているときに発射すれば、120 秒後に標的地から 200km 離れた高度 140km 付近で迎撃できることになり、標的地が岩国の場合、破壊された破片は日本海に落下する。

3. イージス・アショアと新型ミサイル SM3 ブロック 2A

弾道ミサイル発射地との間に海が無い場合、イージス艦は展開できない。地上配備型イージスシステム(イージス・アショア)はイランから NATO 諸国への中距離弾道ミサイルを想定してルーマニアとポーランドに設置済みあるいは工事中である。使用される迎撃ミサイルは現状では SM3 ブロック 1A であるが、より高高度で迎撃できる SM3 ブロック 2A が米日の共同開発中である。完成の暁にはヨーロッパと日本のイージス・アショア基地、既存のイージス艦にも新型ミサイルは配備されるという。SM3 ブロック 2A の諸元は断片的にしかネットに流れていない。到達高度は 1000km ともいわれている。わが国に 2 カ所設置すれば本州全土が射程に収まるというから、射程範囲は 800km 程度か。明確に報道されていることは 3 回の迎撃実験を行ったが、初回の予備的な実験のみが成功と報じられ、その後の 2 回の実戦的実験は失敗に終わっていることである。他方、THAAD の迎撃実験は全て成功していると報じられている。

PAC3 や THAAD に比べて、SM3 ブロック 2A が難しい理由を推測しよう。飛んでくる弾道ミサイルは高度が高い(500km 以上)だけでなく、速度も大きいので(2~3km/s あるいはそれ以上)、迎撃ロケットの推進力は十分強く、遠距離まで飛び、かつ正確に制御して近接させないと撃破できない。速度が 2km/s というのは実に高速である。昔、戦艦大和の主砲は 42km 先まで届くと言われていたが、この砲弾の放出速度は 0.64km/s にすぎない。大砲の弾よりも 3 倍以上速く飛んでいる 1~2m サイズの弾頭部を横から同程度の速さと大きさの弾で撃ち当てることはおよそ不可能であろう。つまり、図 3 のように真下からクロスするように狙ったのでは迎撃は困難と言うことだ。

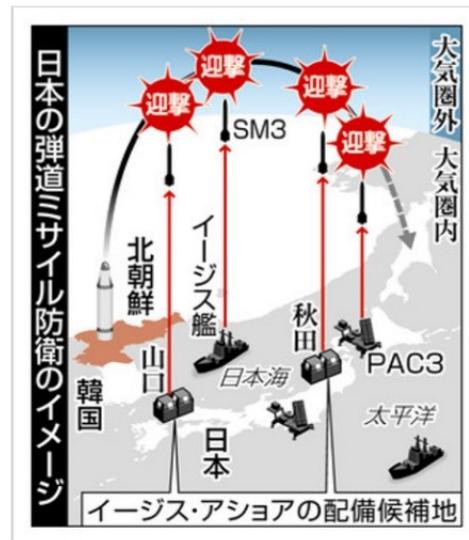


図 3 2 基のイージス・アショアの設置の方針を 19 日に閣議決定したと報じた東京新聞 WEB 版 2017.12.20。

そこで、弾道ミサイルと迎撃ミサイルの軌道を平行に近い形にとるような、図 4 の 3 通り

りが考えられる；(ア) 弾道弾より速い速度で後方より接近する、(イ) 先回りして弾道弾に追突させる、(ウ) 弾道弾を待ち伏せして正面より激突させる。迎撃ミサイルは前方にしか目がない（レーダーもしくは赤外検出装置）から（イ）では軌道に接近するように制御することが難しい。（ア）では弾道ミサイルより相当速い速度が必要で、それは弾道ミサイルのロケットと同程度の推力を必要とするので、迎撃して打ち上げるタイミングが重要である。残るのは（ウ）であり、要するに THAAD よりも早いタイミングで打ち上げ、到達高度の大きい迎撃ミサイルであるならば可能である。ただし、（ウ）では相対速度は 5km/s 以上になり、迎撃ミサイルの誘導技術の正確さが問われる。

ネットでのデータ収集には限界があるが、どうやら SM3 は図 4 の（ウ）のスタイルで迎撃するようだ。迎撃ミサイルは 3 段の固体燃料ロケットで、加速して上昇していく過程では地上のレーダーで軌道を確認して誘導される。大気圏外に達すると迎撃体が放出され、2 波長赤外線検出装置で飛来する弾道弾を確認して、エンジンで軌道修正を行い、激突することで弾道弾を破壊するという。

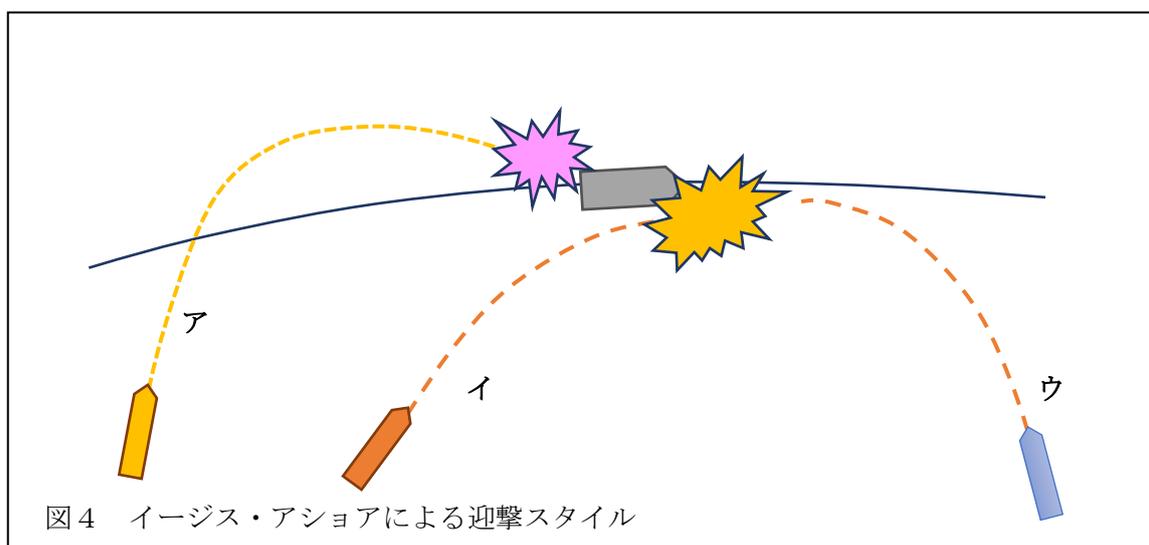


図 4 イージス・アショアによる迎撃スタイル

以上見てきたことから、現時点では次のように結論できる。

- ① 岩国に飛来する短距離弾道ミサイルはイージス・アショアに頼るまでもなく、イージス艦に搭載のSM3（ブロック 1A や 1B）で迎撃できる。
- ② SM3-ブロック 2A ならば、本州から離れた日本海の中程で迎撃できる。この場合、迎撃ミサイルをイージス・アショアで発射する必然性はなく、イージス艦からも発射できる（そのようにイージス艦は改修されるはず）。
- ③ 萩や秋田に設置するイージス・アショアで本州の中央部（関東地区）を準中距離弾道ミサイルから防御するのは、迎撃ミサイルに相当の推進力が求められる。図5に見るように、到達高度は600kmで、軌跡が700km 必要なので、弾道ミサイル発車直後に、弾道ミサイルと同等以上の推進力を迎撃ミサイルは持たなければならない。
- ④ 関東地区を狙う準中距離弾道弾に対処するには、その軌道の真下付近に展開したイージス艦からの迎撃が有利である。

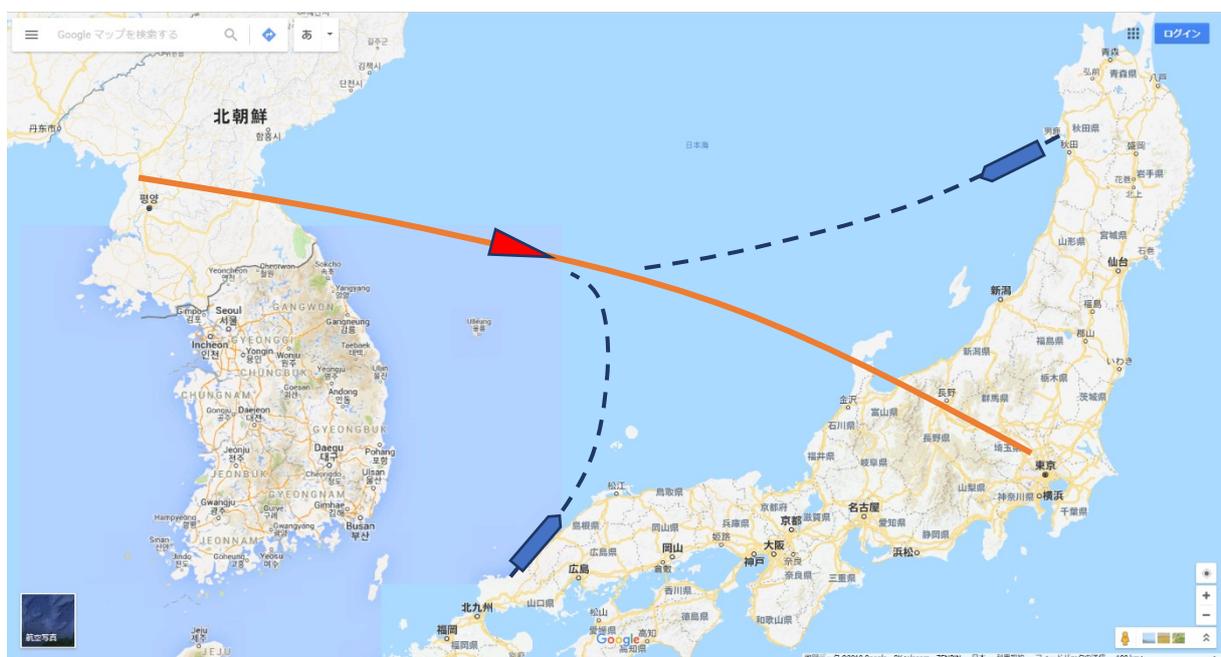


図5 関東に飛来する準中距離弾道ミサイルとこれを迎撃するSM3の予想軌道

このように見ると、グアムやハワイに向かう中距離弾道弾を迎撃するのが萩と秋田のイージス・アショアではなかろうかと勘ぐりたくなる。あるいは周辺国が危惧を表明しているように日本海北部や東シナ海の通常の航空機を迎撃する地対空ミサイル基地あるいは地対地の巡航ミサイル基地なのかも知れない。

もう一つの勘ぐった見方がある。それは列島防衛には2基のイージス・アショアで対応できるとし、イージス艦は日本海からフリーとする。そして空母に改修した護衛艦「いずも」とともに、米海軍と「集団的自衛権」を発動する行動（中近東への出撃）を行えるようにする。専守防衛のタガが外れれば何でもありとなろう。

ともあれ、新型ミサイルSM3ブロック2Aは未完である。完成すれば、わが国のイージス・アショアに配備されるだけでなく、わが国およびアメリカのイージス艦にも配備されるし、NATOのイ

ービス・アショアにも配備される。それを可能とするため、武器輸出3原則がないがしろにされたことは記憶に新しい。

4. ミサイルの被害を避ける道

たった1発のスカッドやノドンというありふれたミサイルでも迎撃は大変なように思われる。数発以上が同時に飛んできたり、ロフテッド軌道で飛んでくると、イービス・アショアでも100%撃墜は出来ないだろう。また、撃墜できても破片は広範囲に落ちてくる。ミサイルに狙われていない方面でもJ-アラートの避難訓練をする本当の狙いはここにあるのだろう。そもそも、弾道ミサイルで日本が攻撃されるとは限らない。数百、数千のドローンでこっそり防衛システムを破壊されることの危惧がネットに闊歩している。

単にわが国の基地や原発を攻撃する方法はいろいろとあろう。しかし、1撃といえども攻撃すれば、直ちに米軍による総反撃を食らうことを覚悟しなければならない。また、領土を確実に占拠するには制海権と制空権が不可欠だが、これは不可能に近いから核ミサイルによる抑止力に血祭りをあげていると言われている。「攻撃できるぞ」と恐喝は出来ても、実行に移せば政権はもとより国の存在自体が抹消されうることは、彼の国の独裁者も良くわかっていると見える。

イービス・アショアの基地を山口と秋田に置くのはどうしてだろうか。単純に考えれば岩国基地と三沢基地の防御という見方であるが、むしろ、グアム、ハワイや北米大陸に向かってくるICBMを迎撃する前線として、アメリカの要求かあるいは付度したのではなかろうか。

いずれにせよ、彼の国から見れば、アメリカに向けた矛を無効にする盾を日本が買って出るのであるから、事あるときはまず盾を叩く行動を誘発するだけではないのだろうか？こうしたリスクを高めるだけの国防は意味があるのであろうか。専守防衛をかなぐり捨てる軍拡ではなく、他国に戦争を仕向けないという平和憲法の立場を前面に出し、平和的交渉で「いくさ」を回避することが最強の国防であると思われてならない。

ミサイルを発射させない、軍事によらない解決をはかるのがベストであり、そのためには平和憲法と専守防衛こそが最も有効ではなかろうか。

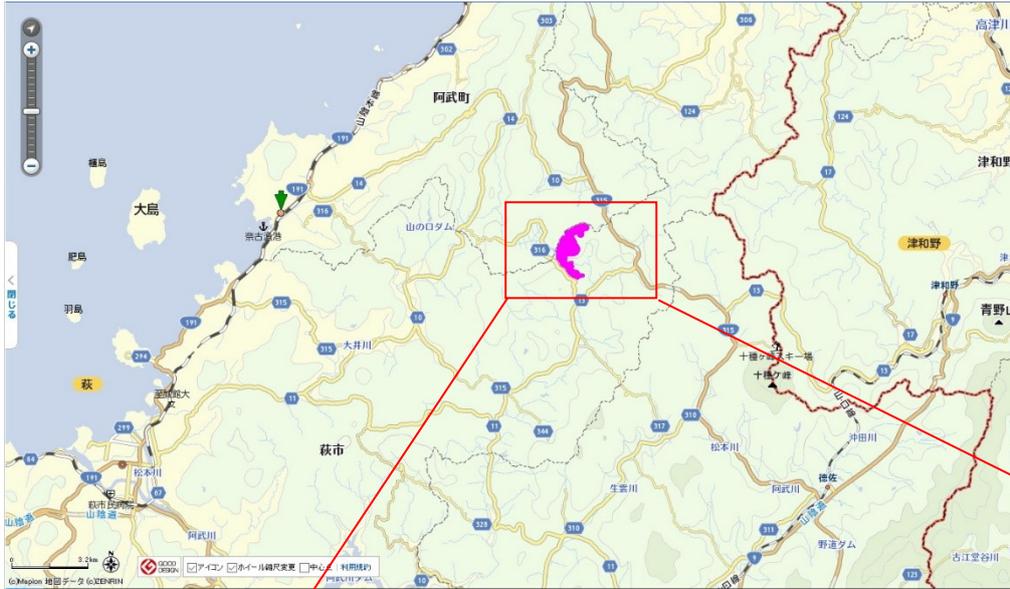
補遺

・イービスシステムのSバンドはスマホ、電子レンジ、無線LAN、WiFiでも使われている。電子レンジの中に金属物体（アルミホイール）は電波で誘起された放電を生ずる。強力なSバンド電波は電子機器に障害を与える。イービス・アショアのレーダー塔から数kmは立ち入り制限か。むつみ演習場北側の東台や西台の民有地、広域農林道の通行は？

・万一、迎撃のSM3が発射されると、1段目ロケット、さらに2,3段目の燃えかすも弾頭もいずれは落下する。むつみ演習場は日本海に近いとはいえ、SM3の打ち出す方位・仰角によっては萩、奈古、田万川、益田の市街地に1段目は落下しないのか？

付録 A 陸上自衛隊むつみ演習場

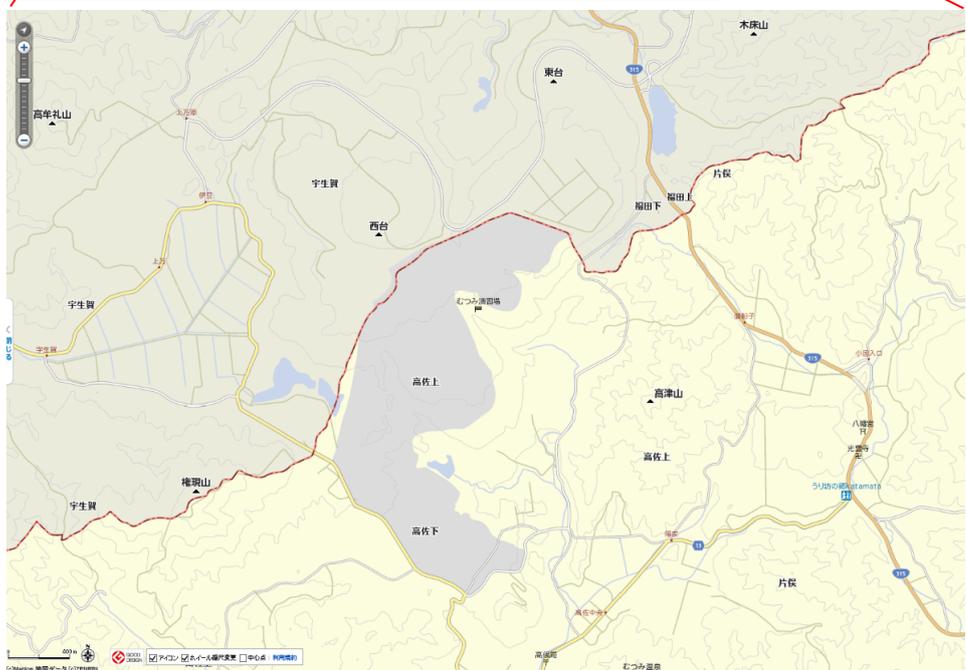
ここで、イージス・アショアの候補地と取りざたされている萩市むつみの陸上自衛隊演習場について調べてみた。場所は萩市むつみのむつみ小学校から北東 6km、阿武郡阿武町宇生賀との境界の標高 500m 位の台地の上であり、総面積は 2km²程度。西側の標高 400m には埋もれ木で有名な宇生賀の農耕地と 4 集落があり、農家戸数 49 戸（地権者 76 戸）で農家人口 165 人、耕地面積 122ha、水田面積 104ha で水稲、大豆、スイカ、ハクサイ、ナシ等を栽培する農事組合法人「うもれ木の郷」が運営されている。演習場の東側に隣接して 10 数戸の集落が標高 350m にある。数戸は演習場の建屋のすぐ横である。この地域は演習場の台地からわき出る水を使用している。



戦後の国の開拓事業の一つとして東台は満州からの引き揚げ者などの手で開墾の努力がされた。しかし、宇

生賀盆地とは違って火山性土壌の台地で耕作には適さず、入植者は難儀を極めたという。一方、秋吉台の米軍射爆場が地元の反対で破算になったとき、秋吉台を共用していた自衛隊のための代替地探しが行われ、むつみの東台と千石台が候補となった結果、東台 200ha が演習場とされ、入植した人びとは三度新たな開拓地に移動したという歴史がある。

生賀盆地とは違って火山性土壌の台地で耕作には適さず、入植者は難儀を極めたという。一方、秋吉台の米軍射爆場が地元の反対で破算になったとき、秋吉台を共用していた自衛隊のための代替地探しが行われ、むつみの東台と千石台が候補となった結果、東台 200ha が演習場とされ、入植した人びとは三度新たな開拓地に移動したという歴史がある。



萩市むつみの陸上自衛隊演習場

周辺情報

- 千石台大根出荷組合（萩市吉部上） 直線 6 km 年商 2 億円
- コンピュータ制御の選果装置へのレーダー電波の影響が心配
- トマト選果場 直線 3 km 年商 5 億円

付録 B 軍事評論家の懸念の紹介

- ① <http://gendai.ismedia.jp/articles/-/52659> 2017/8/24
 半田 滋（東京新聞論説兼編集委員）
**新兵器の「押し売り」で、日本はまたアメリカの金ヅルにされる
 武器を通じた自衛隊の「対米追従」**
- ・もうイージスで足りているのに
 - ・また「ぼったくり契約」か
 - ・強烈なレーダー波はどうする？
 - ・「対米追従」のための本末転倒
- ② <http://globe.asahi.com/news/2018012200003.html> 2018/1/24
 軍事社会学者 北村淳
本質的議論抜きで決定されたイージス・アショア導入
- ・移動できないイージス・アショア
 - ・同盟国にイージス・アショアを展開させる方法
 - ・日本にもイージス・アショアを設置したいアメリカ
 - ・アメリカのもくろみ通りにイージス・アショアを調達する日本
- ②' <http://globe.asahi.com/news/2018020500001.html> 2018/2/7
 軍事社会学者 北村淳
弾道ミサイル防衛を再吟味しなければ国防が危殆(きたい)に瀕する
- ・日本の弾道ミサイル防衛態勢はかなり強化される
 - ・日本の弾道ミサイル防衛態勢強化により懐が潤うアメリカ
 - ・システムに加えて大量の迎撃用ミサイルが必要になる
 - ・せいぜい原初的な北朝鮮弾道ミサイルにのみ有効
 - ・今からでも遅くはない弾道ミサイル防衛に関する本質的議論
- ③ <http://www.nhk.or.jp/kaisetsu-blog/900/288599.html> 2018/1/18
 解説委員 増田 剛
「ミサイル防衛はどこまで必要か」 (キャッチ！ワールドアイ)
 Q3 イージス・アショアの配備が完了すれば、日本のミサイル防衛態勢は、万全か？
 A3 そうとも言い切れません。
- ④ <http://www.nhk.or.jp/kaisetsu-blog/100/290961.html> 2018/2/23
 解説委員 増田 剛
「イージス・アショア 山積する課題」 (時論公論)

主な電磁波について補足

呼称	周波数	典型的波長	用途	
X線		0.1 ナノメートル		
紫外線		0.1 ミクロン		
可視光線		0.5 ミクロン		
赤外線		10 ミクロン		
マイクロ波	Xバンド	1cm	船舶用レーダー	電子レンジ 2.45GHz は Sバンド
	Cバンド	5cm	気象レーダー	
	Sバンド	10cm	無線 LAN	
超短波VHF		1 m	テレビ放送	
中波		100m	ラジオ放送	