

迎撃ミサイル SM-3 のブースターMK72 は演習場内に確実に落ちる？

2019年6月14日 HM

以前の2018年10月20日付の考察

<http://www.e-hagi.jp/~mashi803/jsa/data3/20181020MK75memo.pdf>

において、ブースターMK72の燃焼時間は約6秒で、燃焼を終える高さは1~2kmとされていることを元に、ブースターの落下場所を試算した。その時、SM-3の2段目ロケットを切り離す反動についてはデータが無かったので、切り離し直後のMK72の上昇速度は300~360m/sと仮定した。そのため、MK72は到達最高高度5~8kmから落下することになった。

その後、2つのヒントが得られた。一つは下図に示す2018年12月11日のハワイでのSM-3ブロック2Aの発射の写真である。ハワイの施設では海岸近くにVLS(垂直発射装置)がある。発射されたSM-3は直後に海の方に約10度傾けられて上昇する。これは明るい光の帯である。MK72が燃え尽きたあと少し時間をおいて2段目ロケットが点火され、上昇とともに左側に方向を変えていることが分かる。注目すべきはこの2段目の明るい軌跡の



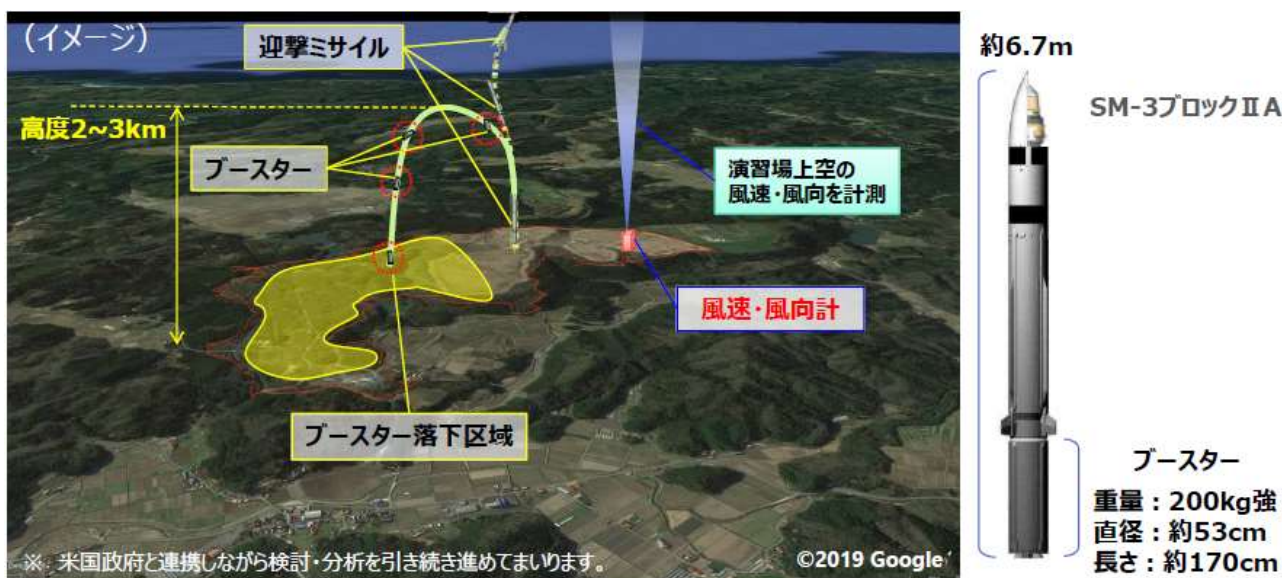
米ミサイル防衛局よりFTI-03実験でSM-3ブロック2A迎撃ミサイルの発射

<https://news.yahoo.co.jp/byline/obiect/20181211-00107368/>

米ミサイル防衛局と日本防衛装備庁の発表によると、2018年12月11日（日本時間）、ハワイ沖で実施された迎撃実験FTI-03「ステラーヴァヴェル」で日米共同開発中の弾道ミサイル防衛用迎撃ミサイル「SM-3ブロック2A」が迎撃実験に成功しました。今回はカウアイ島のイーグリスアショア実験施設からSM-3ブロック2Aが発射されています。標的ミサイルはC-17輸送機から空中投下された中距離弾道ミサイル標的でした。SM-3ブロック2A迎撃ミサイルは前回10月26日の実験成功に続き今回の成功により2連続で成功、通算5回中3回目の成功となります。

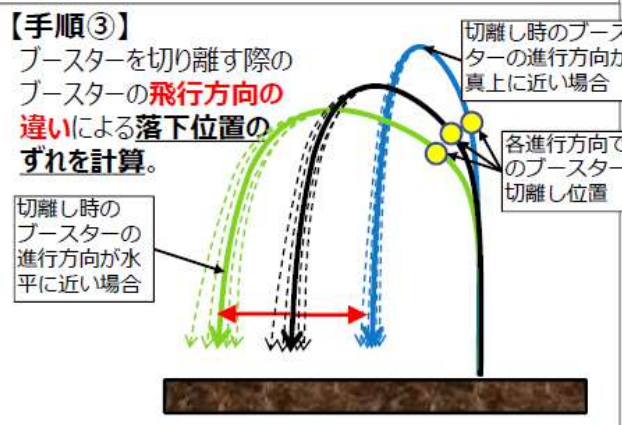
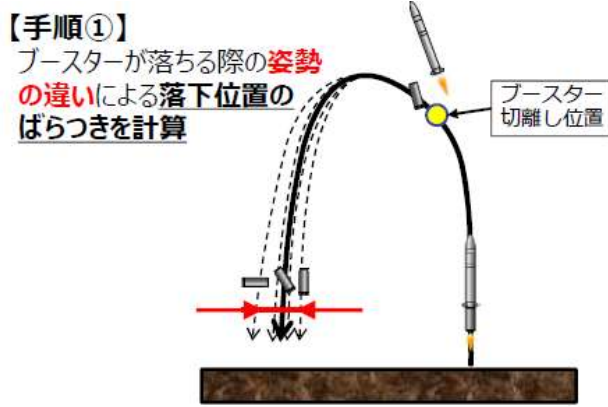
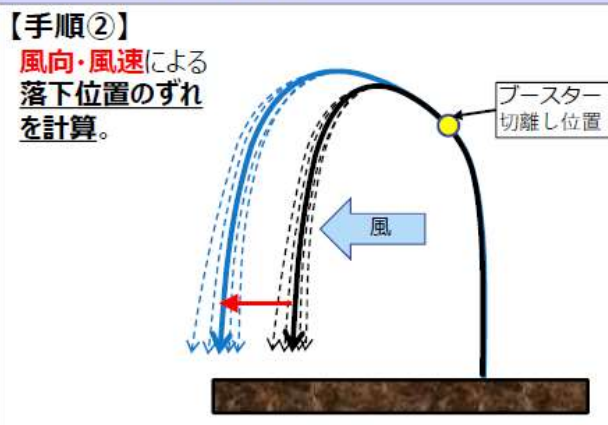
左側に放物線を描いて落下する細い線が見えることである。これが余熱を持ったブースターMK72と同定できる。従って、MK72が燃え尽きる約6秒間に高度1.5kmまで上昇していたとすると、その後、3.0kmを最高高度としてブースターが落下するというシナリオとなる。

二つ目のヒントは5月28日に山口県庁で防衛省が説明・公表した「イージス・アショアの配備について」という、適地調査の報告書(以下、「報告書」と呼ぶ)である。報告書84ページではブースターの最高高度は2~3kmと書いている。そして、85ページでは発車直前



の上空の風向風速を計測して落下位置のずれを計算し、演習場内の設定区域に落ちるような条件データを与えて発射すると書いている。ただし、小さな字で「米国政府と連携しながら検討・文責を引き続き勧めてまいります」と記しており、正直というか、無責任とい

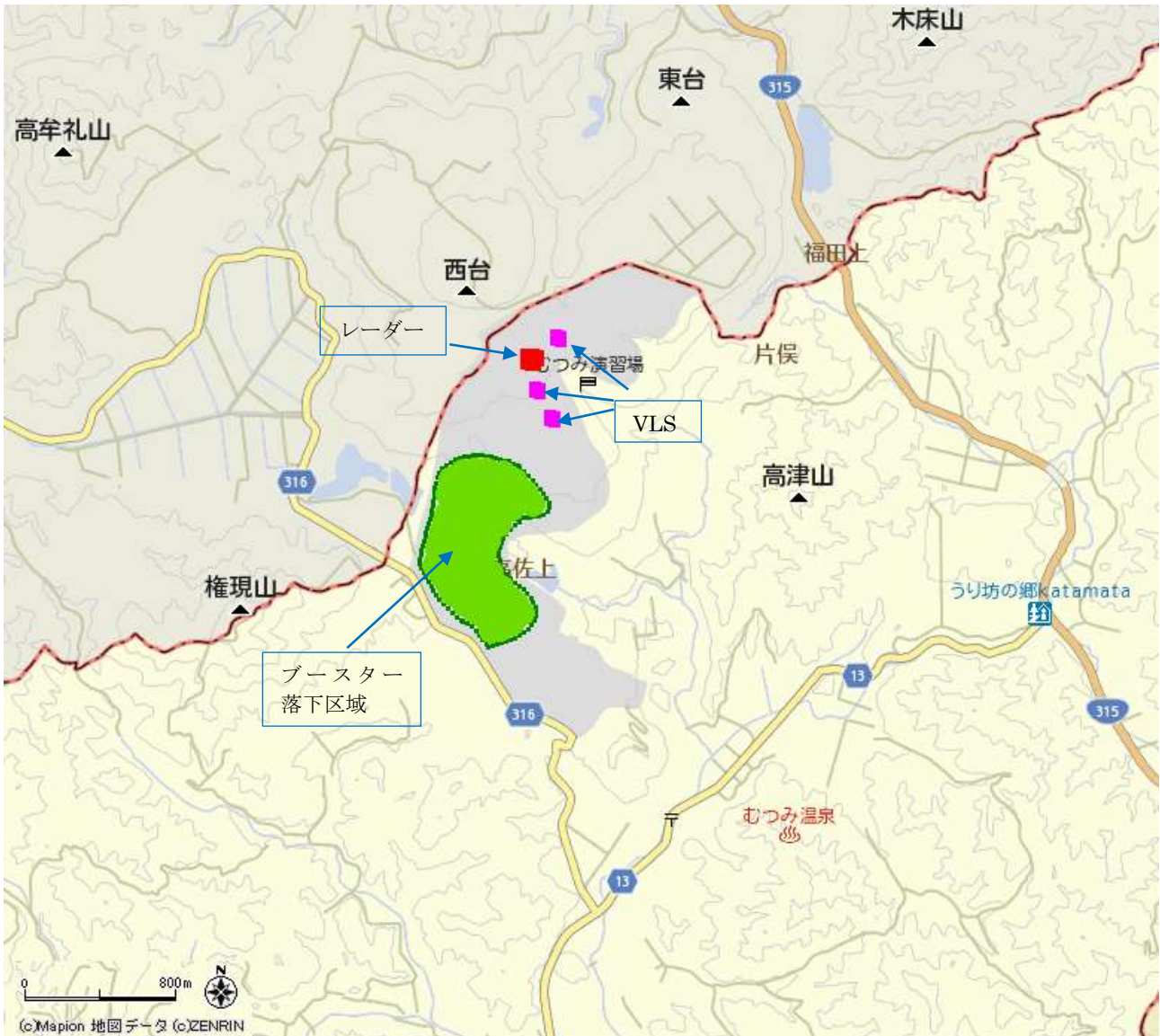
- 次に示す手順①から③により、
 - ✓ あらかじめ、ブースターの落下時の姿勢、上空の風向・風速、及びミサイルの速度・飛翔方向といった様々な条件でブースターの落下位置を計算します。
 - ✓ これにより、ブースター落下区域内にブースターを落下させることが可能となる条件を把握します。
 - ✓ 実際にミサイルを発射する場合は、発射直前の風速・風向を計測しミサイルが区域内に落ちる条件で発射します。



うか、机上の計算が実行可能かどうかの保証はなされていない。

さらに注目すべきは、85 ページの図では落下するブースターの姿勢を 3 通り書いていることである。すなわち、2 段目ロケットの切り離しの反動で垂直のまま落ちるのか、斜めに傾くのか、さらにはどの方位に傾くのか分からないと言うことを認めているのである。これでは風や空気抵抗でどのように落下位置が変わるのか分からないと言っているに等しい。

なお、報告書 84 ページのグーグル 3D ビューに書き入れたブースター落下区域を平面図に落とすと下図のようになる。



南北 1km 弱、東西 500m ほどの落下区域の真ん中にくびれている。東には見廻溜池、北西には熊田溜池があり、かつ溜池に流れ込む沢がある。こうした水源にも影響を与えないように落下させなければならないことは言うまでも無い。

ともあれ、ここでは球形の物体が空気抵抗なしに 2~3km の高度から落下する場合を力学的に考えよう。高度 H で鉛直と θ の角度方向に速度 V をもつとする。重力の加速後を g として、時間 t での放物線軌道の式は

$$x = Vt \sin \theta \quad y = H + Vt \cos \theta - \frac{g}{2} t^2$$

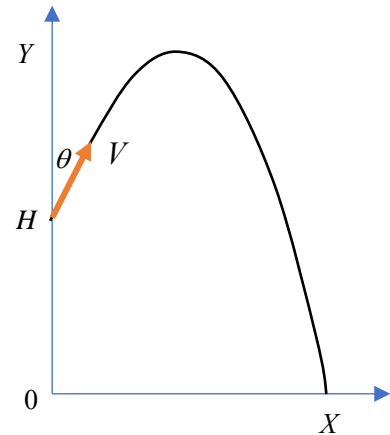
である。最高高度は $Y = H + (V \cos \theta)^2 / 2g$ で、地面につく時間と位置は

$$T = \{V \cos \theta + \sqrt{(V \cos \theta)^2 + 2gH}\} / g$$

$$X = VT \sin \theta$$

となる。

ブースター切り離しの高度として $H=1000\text{m}$ と 1500m 、切り離し直後の上昇速度として $V=140\text{m/s}$ と 170m/s を考える。また、切り離し直後のブースターの上昇方向の鉛直線からの傾き角としては $\theta = 5^\circ$ と 10° を仮定した 4 通りの初期条件での計算結果を表でまとめる。



$H(\text{m})$	1000	1000	1500	1500
$V(\text{m/s})$	140	140	170	170
$\theta(^{\circ})$	5	10	5	10
$Y(\text{m})$	1992	1970	2963	2930
$X(\text{m})$	420	829	620	1226
$V_f(\text{m/s})$	198	198	241	241

ここで、 V_f は空気抵抗なく地表へ達するときの速度である。

前ページの配置図からは $X=800\sim 1200\text{m}$ を防衛省は想定しているのか。

風や空気抵抗が無視できても、3つの離れた位置に設置された VLS から発射された SM3 のブースターをある定まった区域に落下させる必要があるので、少なくとも VLS 毎に傾角 θ とその方位角を予め計算しておくことが必要である。その上に、風や空気抵抗の効果(これはブースター MK72 が落下の時の予測不能な姿勢に依存する)を考慮しなければいけないことになる。約 1km 離れた半径 250m 程度の目標落下区域に収まるであろうか？

(18.10.20 に記していた補足の再録)

米海軍において開発されてきたスタンダードミサイル、SM-2 ブロック IV, SM-3, SM-6 は同じ固体燃料のブースターMK72 を使っている。1 段目ロケットを共通にすることで、格納庫などを共有できる。ブースターの役割は船倉の垂直発射装置から真上に打上げ、1~2km 上がったところで 2 段目に点火し、目標に向かわせる役割である。船から打ち上げるので、波の影響で打ち上がった直後にミサイルが傾いている場合はガス噴射ノズルの向きを変えて垂直に立て直す。このことは日本の防衛白書や MK72 の製造メーカーの web でも確認できる。しかし、ブースター燃焼終了直前にもガス噴射ノズルを変えるような制御システムにするというのは、日本の陸上配置型イージス・アショアの特注仕様なのであるか？

いや、SM-3 を出来るだけ早く目標に近づけて撃墜するには、2 段目ロケットを切り離しの段階で方位を定めて 10° 程度は傾ける方が有利かも知れない。そういう設計と、ブースターを決められた領域の落とすという設計は考え方が異なり、両立することは考えにくい。

米国ハワイのイージス・アショア試験施設から打ち上げられた SM-3 の映像はしばしばテレビ番組で放映される。この SM-3 は 10° 程度垂直から傾けて打ち上げられている。これは落ちてくるブースターを避けるためと言われている。イージス艦の場合は艦船が時速 18km で移動しておれば、60 秒後にブースターが落ちるときに船は 300m 以上移動しているので、直撃を受けない。

そもそも、海軍用に開発されたミサイル SM-3 や SM-6 を内陸に持ってくるのが間違いではないのか。また、将来は通常の航空機や巡航ミサイルを迎撃するミサイル SM-6 も配備と伝えられている。周囲を山に囲まれて、日本海の水平線が見えない場所にレーダーを置いても、巡航ミサイルを探知し、SM-6 を誘導するには役に立たない。立地選定は間違っていないだろうか。