

ベビーS・ロケットの飛翔特性

—高速飛翔体の光学的追跡に関する研究 第4報—

植村恒義・伊藤寛治・山本芳孝

昭和30年8月23, 25の両日に実施されたベビーS型・ロケット4機の飛翔実験において将来の実験に備え、基礎資料を得る目的でカメラ班が行った実験結果を報告する。

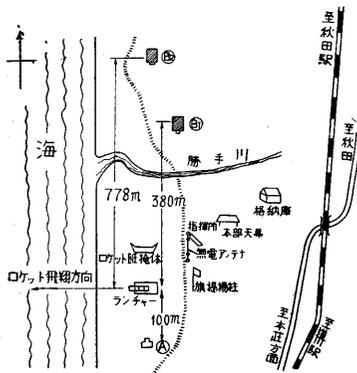
ベビーS型の諸元は次の通りである。

	メインロケット	ブースター
重量	7.375kg	2.43kg
燃料の重量	1.0kg	155g
推力	112kg	524kg
燃焼時間	1.605秒	0.062秒
長さ	1060mm	
直径	80mm	

1. 使用した撮影装置と撮影結果

(a) 16mm Fastax 高速度カメラ 第1図に示す如くランチャーの真南100mの地点Aに掩体を築き中に取めた。

使用レンズ……75mm f:2.5 Rapter これに Bell & Howell 製シネマスコープ用レンズ (Filmolama) を縦方向に付加し、上下方向を2倍の範囲に撮影できるようにした。



第1図

方向の付加し、上下方向を2倍の範囲に撮影できるようにした。

撮影速度……
2,500~3,000駒/秒

視野……ランチャーを含み上下方向約20mの範囲を入れた。すなわち発射瞬間のランチャー内のブースターの離脱、メインロケットのランチャー離脱後十数mまでの飛翔特性を知りうる。

撮影結果 ベビーS 1, 2, 3, 4の4機撮影を行ったが、無線電話による発射瞬間の通知が適当でなく、カメラの同期を確実に行うことができなかったため、1号機、3号機は撮影できなかった。

ロケット塗装が赤と黄の市松模様の迷彩に近い状態であったので、写真撮影にとっては非常に不利な条件であった。なおベビーS-2号機は薄曇りのため露出が不足気味であった。ランチャー内の状態はランチャーの構造上

ほとんどロケットが見えないため白煙、火焰の発生状態からブースターの点火、ブースターとメインロケットの分離等の瞬間を知りうる程度で、精密な変位を測定することは不可能であったがランチャー離脱後の変位は精密に測定できた。

S-4号機は晴天に恵まれ4機中最もよく撮影でき、ランチャー内の状態はS-2号機と同程度であるが、ランチャー離脱後の特性は最もよく測定できた。

(b) 35mm Bell & Howell 撮影機 Fastax 高速度カメラと同一地点に位置し、発射と同時に追跡撮影を行った。

使用レンズ……100mm Tessar f:2.7

撮影速度……24駒/秒、露出1/1,000秒、絞りf:4シンクロナスモーターを使用して毎秒24駒の正確な撮影速度を出し、時間軸の基準とした。

視野……ランチャーを含み、20mの範囲を入れ、発射と同時にロケットを追跡撮影した。

撮影結果 発射瞬間は4機共撮影し得たが、S-1, S-2号機は追跡撮影不成功、S-3, S-4号機はいったん視界を逸したが、直ちにとらえ、約5秒間撮影に成功した。

発射付近の状態は撮影速度が24駒/秒であるため数駒にしか写っていないが、露出が1/1,000秒の微少時間であるため像は非常に鮮明であった。

(c) 6cm 対空双眼鏡追跡装置 (16mm フィルモ撮影機付) 対物レンズ口径6cm、倍率7.5倍の対空双眼鏡(東京光学製視界8°, 70°伏視型)に16mmフィルム撮影機(焦点距離100mmレンズ付)を付加し、双眼鏡の視野の中心に飛翔中のロケットをとらえ落下までの全航跡を追跡し、その間付加した撮影機でロケットの飛行状態を撮影する装置である。これは今後の実験に備え、観測点と発射位置の距離、双眼鏡の倍率、視界等の選定に必要な基礎資料を得るため、応急に製作した装置である。

この装置による実験結果の大略は次の通りである。

S-1号機はランチャーの真北380mの地点(第1図B1)で観測したが、観測地点が近すぎ、追跡の角速度大となったためと、発射瞬間の通知の不完全なため、直ちに見失い失敗した。

S-2号機はランチャーの真北778mの地点(第1図B2)に移動し観測した。双眼鏡による追跡は一応成功した

が、ロケットが4秒ほどで雲中に突入したためそれ以後の状態は不明に終わった。

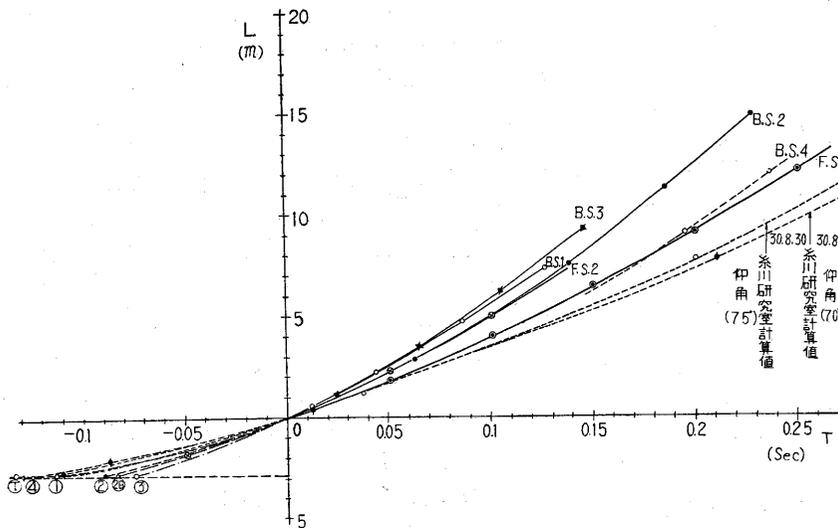
S-3号機はB₂点で観測、ロケット航跡の90%以上、すなわち海面に落下する直前まで完全に追跡できたが、この付近で四塩化チタンの発煙も消え、ロケット自体を見失ったが海面突入の水柱は確認できた。落下点まで距離は3~4000mで双眼鏡の倍率がやや不足であることがわかった。

S-4号機は同じくB₂点で観測し双眼鏡に青色フィルターを使用、全航跡を完全に追跡でき海面落下の際の水煙ははっきり確認できた。落下まで約43秒で、海面落下直前一寸見えにくくなった点からみてやはり眼鏡の倍率が不足気味で、15倍程度は必要であることが判明した。付加した16mm Filmo 撮影機は焦点距離100mmのレンズに赤色フィルターを付し、撮影速度16 駒/秒、絞りf:5.6で使用したが、現像の結果ほとんど写っていない。少なくともS-3, S-4号機は視野に完全に入っているはずであるが、レンズの焦点距離不足のためロケットの像が解像力以下となったためと思われる。もう1桁長い焦点距離のレンズを使用する必要がある。

2. 解析結果

(a) 撮影結果よりの特性解析 16mm Fastax 高速カメラによる撮影結果 (F・S-2, F・S-4) ならびに 35mm Bell & Howell 撮影機による撮影結果 (B・S-1, B・S-2, B・S-3, B・S-4) を測定解析し (i) 変位—時間特性 (第2図), (ii) 速度—時間特性 (第3図), (iii) 加速度—時間特性 (第4図) を得た。

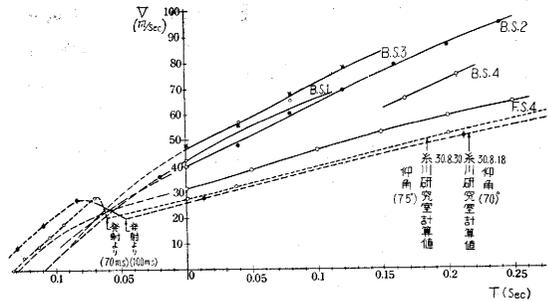
(i) 変位—時間特性 (第2図) 横軸—時間、縦軸—ランチャー方向の変位を示す。時間軸原点はロケットの先端がランチャー出口に達した瞬間をとる。変位軸はランチャー出口を原点とする。ランチャー内の状況は火焰



第 2 図 ベビー S (1, 2, 3, 4 号) 変位—時間曲線 ロケットの先端がランチャー出口に位した時を原点とする

ならびに白煙により大体の所を測定したものである。第2図でわかるように40%近いばらつきを現わしている。曲線中 F・S-2 と F・S-4 は Fastax によるもので信頼できる精度のものである。F・S-2 と B・S-2 はよく一致しているが、B・S-4 は原測定3駒のもので F・S-4 と少しずれている。この原因はS-3, S-4号機撮影の際撮影機がやや不調のため毎秒24駒のシンクロナス・モーターの回転が少し低下し撮影速度がみだれていたため、ロケットが速いように現われているものと思われる。B・S-1, B・S-2の場合には撮影機は順調に作動しているので信用できる曲線と思われる。これらの曲線は糸川研究室計算値よりいずれも相当大となっている。

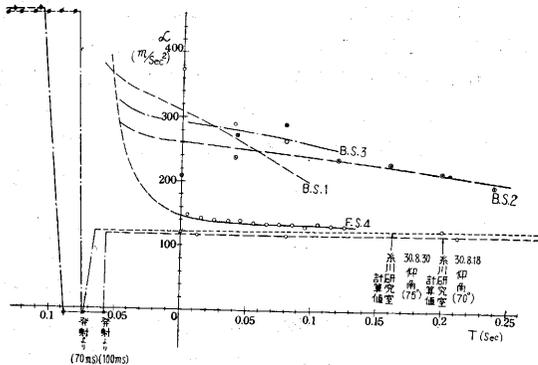
(ii) 速度—時間特性 (第3図) 第3図は第2図から図式微分で求めた結果である。ロケットの先端がランチャー出口に達した時の速度はS-3号機が47m/sec, S-4号機が32m/secでやはり40%近く変動している。計算値よりも数m/secないしは20m/sec近く大となっている。このように計算値より相当大きい速度を持っているのはランチャー内の特性計算の仮定が実際の場合と相当



第 3 図 ベビー S (1, 2, 3, 4 号) 速度—時間曲線 ロケットの先端がランチャー出口に位するときを原点とする

違っているためと考えられブースターならびにメインロケットのランチャー内特性は再検討を要する。このためには高速カメラによってランチャー内弾道を精密に測定できるように撮影する必要があると思う。

(iii) 加速度—時間特性 (第4図) 速度—時間曲線 (第3図) を図式微分して得られたものである。F・S-2はかなり信頼度が高い曲線であるがB・S-1, 2, 3は平均の大略値が信用できる程度のものである。この図からわかるように実測値はF・S-4で12g, そ



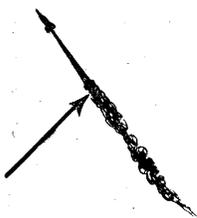
第4図 ベビーS (1, 2, 3, 4号) 加速度—時間曲線
ロケットの先端がランチャー出口に位置するときを原点とする。

の他は 20~20 数 g の値となっている。これらの値はいずれも計算値より大となっている。

(b) 飛行中のロケットの回転ならびに振動 機体の回転は塗装が不備のため、あまりよく観察できないが、ランチャー離脱後 20m の範囲では B・S-3 の画面では 4 駒 (1/6 秒) の間にはほとんど回転していない。すなわち回転していても一回転数秒以上の周期のものであろう。B・S-4 の画面では 8 駒 (1/6 秒) の間では約 1/4 回転程度廻っている。すなわち 1.5 秒程度の周期で回転していると思われる。

振動については垂直面において重心の回りに機体の振動が起っていることが B・S 1, 2, 3, 4 の画面で観察できる。もちろんこれは立体的振動の投影が現われているものとみるべきであろう。いずれも弾道に対して 2~5° 程度の振れで周期は 1 秒以上のものであろう。

(c) ロケットの燃焼終了時期 S-3, S-4 号機の追跡撮影の画面で発射後 1.6~1.7 秒で白煙が(第5図)のように急に変化しているのが観察できる。このことはエンジン燃焼中はロケットの頭部より噴出する四塩化チタンの白煙がエンジンの噴流により乱され淡く太くなって残るが燃焼終了と共に急に濃い細い白線となって空中に残っている。この白煙の変化点を燃焼の終了した時期と考えれば地上試験の燃焼時間 1.6 秒と良く一致している。すなわち飛行中の燃焼状況も地上の試験の場合と大差ない状態と考えて良いであろう。



第5図 観察

3. 考 察

(a) 16mm Fastax 高速度カメラは発射付近における変位、速度、加速度の状態を最も精密に知り得る点で有効である。なおランチャー内のロケットの運動状況が撮影できると非常に良いが、ランチャーの構造上外部からはロケットがほとんど見えないので非常に困難がある。しかし翼端がわずかに見えているのでメインロケット・

ブースターの翼端を白色塗装すればある程度測定できると思われる。

(b) 35mm Bell & Howell 撮影機は撮影速度 24 駒/秒でも露出時間を少なくすれば大体の飛行特性を知るには十分であり、国分寺で行ったペンシル・ロケット実験の際の電氣的標的に相当する性質のもので有意義と思われる。追跡撮影により発射より約 100m の間の飛行特性を知るのに好適である。

(c) ロケットの塗装は今回の実験結果より、はっきり分るように赤黄の迷彩に近い模様では撮影に非常に困難をきたしており、発射付近では背後の緑の山とのコントラストが出ない。また空中においてはフィルターを使用して空を暗くおとしてコントラストを出すことが不可能となるので白色地に黒色線を入れた塗装がどうしても必要となってくる。(米国の最近の報告によっても白地に黒色のマークの塗装が写真撮影ならびに観測に最も適当であると述べられている)。

(d) 航跡追跡用双眼鏡ならびに望遠撮影装置 視界 8° 倍率 7.5 倍の双眼鏡で 780m の地点から十分観測できた。故にこの程度の角速度であれば十分追跡できることが判明した。ただしロケットが遠ざかるに従って次第に見えにくくなり、落下点付近では分解能の限度近くになっているので 15 倍程度の倍率は必要である。

望遠鏡撮影装置としてはロケットの像をフィルム面上で 0.5~1mm の大きさには撮影する必要があり、そのためには 1,000m 程度離れた地点より 1m の長さのロケットを撮影するため焦点距離 1m 程度のものを必要とする。なお追跡撮影であるため少なくとも 35mm 撮影機を使用する必要がある。

(e) 16mm 撮影機と 35mm 撮影機の差異 ロケットを画面内にキャッチできる可能性は画面の面積に比例するため 35mm の方が 16mm に比して約 6.25 倍有利となってくる。ランチャー内の運動等局所的な状況を解析するためには 16mm 撮影機が経済的にも有効となってくるが、広い範囲にわたってロケットの大略の運動状況を知る場合は 35mm が絶対有利であり、特に追跡撮影の場合 35mm ないしライカ版のカメラを使用するのなければ問題にならない。

(f) ベビーR実験ならびに将来への計画 以上の実験結果から省みて測定に適した撮影装置を利用し得る限り多数用意するの必要を痛感し、ベビーR実験には、16mm Fastax 高速度カメラ、35mm Bell & Howell 撮影機、800mm 超望遠レンズ付 35mm 撮影機その他双眼鏡による追跡装置にはロケットの飛翔軌跡とタイムマークが記録できるようにする予定である。

なおこれらの装置は将来オメガ型の実験になってもロケットの大きさが 10 倍程度になるので観測撮影点をそれに比例して遠ざけることにより、ベビー実験の場合と同一程度の有効さで使用できるはずである。

オメガ・ロケットの場合、気象条件さえ良好ならば 30~40km までは確実に捕捉できると考えられる。

(1955. 9. 10)