

高速度カメラによるベビー R・ロケットの解析

—高速飛翔体の光学的追跡に関する研究 第 5 報—

植村恒義・山本芳孝・伊藤寛治・中西公弘

1. ま え が き

昭和 30 年 11 月 1 日, 4 日の両日秋田県秋田市郊外道川海岸においてベビー R 型ロケットの飛翔実験が行われ当研究室カメラ班は, 種々のカメラおよび光学器械を用いた光学的追跡およびロケット・ボーン・カメラを担当し, 多くの資料を得, その資料に基いて種々解析を行った. そのうちの高速度カメラによるロケット発射台付近の特性解析について報告する.

2. 実験について

ベビー R ロケットは国際地球観測年に使用するロケットについて種々解決すべき問題を 30 年春以来小型ロケットにより実験しているものうちの一つで, ペンシル・ロケット, 2 段ペンシル・ロケット, ベビー S 型ロケット, ベビー T 型ロケットについて実験されたものである.

ベビー・ロケットのうちベビー S 型は機体内に何も積まず単に飛翔試験のみを行い T 型は機体内に電気的装置をつみ, 地上へ送信を行ったものである. R 型は計器類を積み込み, 飛行中にロケット内で計測を行った後, 計器類を再び安全に回収することを目的としたものであるが, 今回は連続撮影のできる小型 16mm カメラが搭載された.

発射後約 25 秒 (ロケットが最高高度の位置を過ぎ落下の状態にある時) にロケット本体を火薬により二つに切断してエンジン部を切り落とし, 次の回収のための落下傘およびフロートを引出し, カメラ搭載部を安全に落下させる. 海面上に浮遊後着色剤によって海面が着色 (黄色) するようにして回収を容易ならしめている.

ベビー R 型ロケットはメインロケットが全長 1.2m 直径 80mm, 重さ 8.7kg, 燃料 1kg, 推力 112kg, 燃焼時間 1.6 秒のもので, これに長さ 30cm, 重さ 1kg, 燃料 155kg, 推力 524kg, 燃焼時間 0.06 秒のブースターを付けた 2 段式のものである.

飛翔実験 3 機のうち 1 号機は発射角 70 度で発射され, すぐ雲中に入り雲中で落下傘を開き海面に無事落下し回収できた.

2 号機は 65 度で発射され 1 号機と同様雲中に入り切断機構作動の爆発音を聞くことはできたが落下傘の落下点不明で陸海空一体の捜査も空しくついに発見できず回収不成功に終わった.

3 号機は 72.5 度の発射角で発射され快晴の青空に白煙を引いて上昇し海上に安全に落下するまで完全に双眼鏡で見ることができ回収に成功した.

3. 撮影装置および結果

撮影装置としては次の 2 種のカメラを用いた.

a) 16mm Fastax 高速度カメラ

レンズ……………焦点距離 75mm f : 2.5

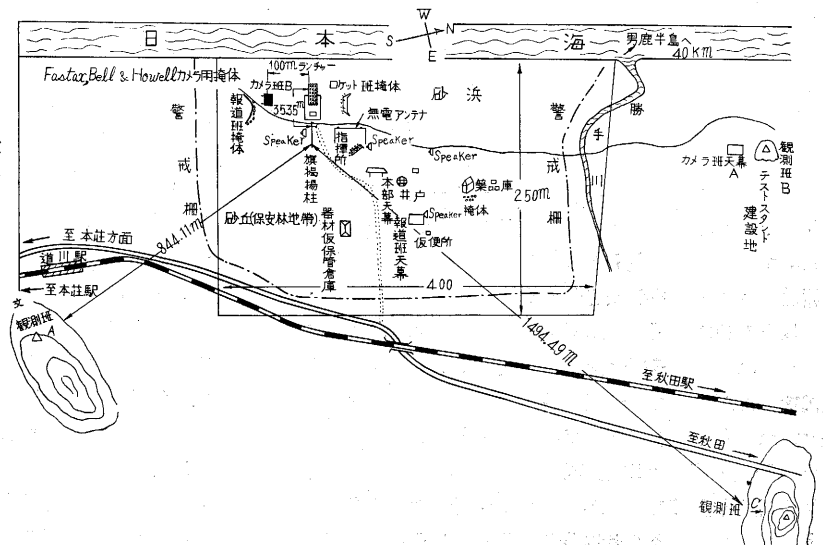
Raptar レンズ

撮影駒数……………3000 駒/秒

使用フィルム……………Kodak High-Speed 用 Super XX

ロケット発射とカメラの駆動とのタイミングは指揮者の秒読みによりロケット発射 1 秒前にカメラのモータースイッチを入れた.

視野……………ベビー S 型ではランチャーおよびランチャー出口より十数 m 付近を撮影したがランチャー内のロケ



第 1 図

ットの特性が解らず、ブースターとメインロケットの切り離し状態も不明なので、今回は撮影レンズの焦点距離を長くしてランチャー、および出口より2mまでを視野に入れるようにした。カメラは第1図の如くランチャーより真南に100mはなれた掩体の中にセットして撮影した。

今までのロケット発射撮影では発射用スイッチを入れた瞬間が全く不明なためロケット発射の時間的基準がわからなかったが、今回はロケット発射用電源スイッチにイグナイターと並列に写真用フラッシュランプを入れ、フラッシュランプの発火を画面に同時に撮影し、後でイグナイタースイッチを入れた瞬間が知れるようにした。

被写体の明るさ、はこの高速度カメラを最高スピードで運転するには自然光だけでは不足であるため、撮影速度は最高スピードの1/2以下にした。その結果露出は画面を解析するには十分な程度であったがコントラストをつけるため、フィルターを用いたりピントをさらに良くするため絞り込むことはできなかった。

b) Bell & Howell 35mm 撮影機

レンズ……………焦点距離 100mm f:2.7

Tessar レンズ

撮影駒数……………24 駒/秒 (標準撮影速度)

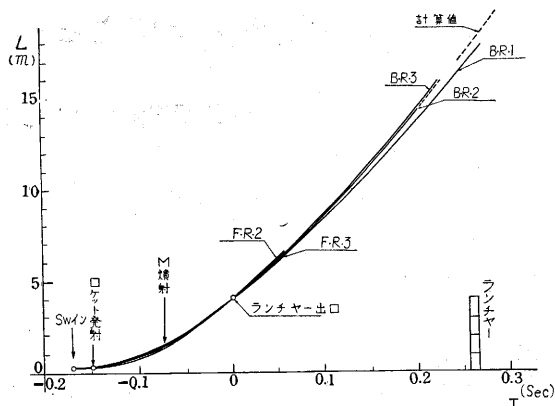
使用フィルム……フジ 35mm ネガティブフィルム

撮影機のシャッタースリットは細くして一駒の露出は1/1000 秒になるようにしてある。そのため撮影速度は24 駒/秒ではあるがロケットの像は完全に停止している(口絵8, 9 頁参照)

視野……ランチャーおよびその出口より十数 m にわたって撮影した。

カメラは Fastax と同じくランチャーより100m はなれた地点にセットした。基準線としてランチャー付近を中心として3 地点に5m おきに標識を立て、後の解析に役立たせた。もちろんランチャーの長さ4m も長さの基準として利用できるものである。撮影機はシンクロナスマーターによって運転され、50サイクルで完全に24 駒/秒となるようになっている。電源の周波数は Fastax カメラ用タイムマークのため周波数計で撮影時も常に監視されている。さらにシンクロナスマーターを用いた1秒1回転の時計を画面にロケットと同時に撮影し一層誤差の減少をはかった。撮影機はロケット発射5秒前に運転を開始しロケット発射後追跡撮影を行った。

以上の装置を用いて撮影を行ったが Fastax 高速度カメラでは R-1 号機は同期に失敗、R-2, 3 号機は撮影成功したが、うち2号機は曇天のため画面にやや鮮明を欠いた。R-3号機は適正露出により鮮明な画面を得られた。Bell & Howell 撮影機の方はランチャー出口の近くは3機共撮影成功したが、うち2号機はやはり露出が不足していた。以後の追跡撮影はR-1, 2号機はすぐに雲中に突込んだため追跡不能、R-3号機は晴天に恵まれて



第2図 ベビー-R (1, 2, 3号機) 変位—時間曲線
Fastax H.S. Camera……(F) Bell & Howell Camera……(B)

追跡撮影に成功した。

4. 解析結果

Fastax および Bell & Howell 撮影機で撮影した画面から、変位—時間特性、速度—時間特性、加速度—時間特性を調べ計算値と比較してみた。

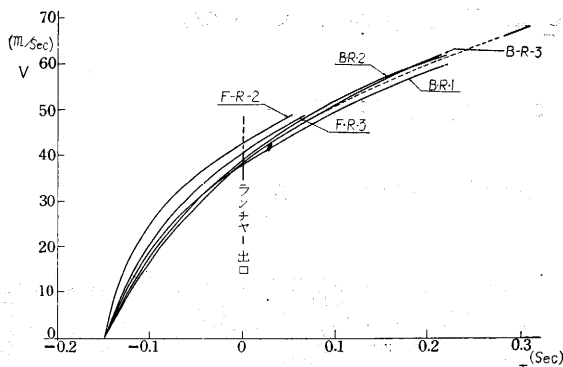
変位—時間特性 (第2図)

縦軸にロケット変位を m 単位で、ランチャーの下端を原点として表わした。特性曲線においてロケットが静止している場合にも20cmを示しているのは、ブースターの長さだけランチャーの下端より上がっているためである。横軸は秒単位で時間を表わしている。時間軸の原点としてロケット発射瞬間を取らず、ランチャー出口(ロケットがランチャーを完全に出了瞬間)を取ったのは、ロケット発射付近は時間に対する変位の変化率が少ないため、変位のわずかの誤差も時間軸では大きく響き、これを時間軸の原点とする場合、後におよぼす影響が大きくなるので時間に対する変位の変化率がある程度大きいランチャー出口を時間の原点として使用した。

Fastax 撮影機と Bell & Howell 撮影機によるそれぞれの解析結果は同一のグラフにまとめて比較した。なお2, 3, 4 図の曲線の記号は最初に (F) のあるものは Fastax による解析結果から得たもので (B) のあるものは Bell & Howell による解析結果から得たものである。次の (R) はベビー-R型ロケットを最後の数字は発射番号を表わしている。

R-2, 3 号機の Fastax による曲線と Bell & Howell による曲線を比較すると良く一致しているが、これは測定誤差が少ないことを示している。またこれらの曲線は計算値とはほぼ一致している。図で分るように R-1 号機の特性は R-2, 3 号機の特性と少し異なっている。

第2図でイグナイターのスイッチを入れた瞬間とロケット発射(発進)瞬間に0.02秒のおくれがある。これは画面を注意して見るとイグナイター用スイッチを入れ電流が流れはじめた瞬間とイグナイター発火の瞬間に時間

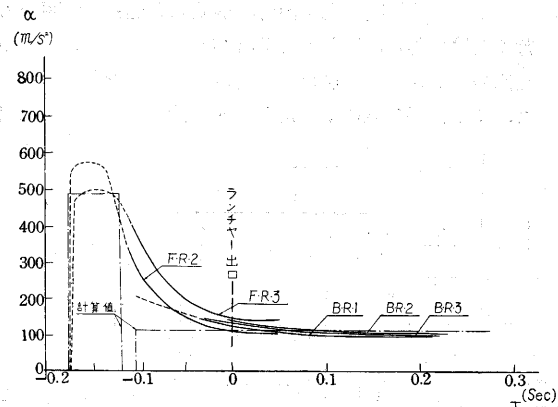


第 3 図 ベビー R (1, 2, 3 号機) 速度—時間曲線
Fastax H. S. Camera.....(F) Bell & Howell Camera.....(B)

的ズレがあり、さらにイグナイター発火とロケット発進の間にも時間のズレがあり、この二つが加わったものであることがわかる。

速度—時間特性曲線 (第 3 図)

第 2 図の変位—時間特性曲線を図式微分して求めたものである。Fastax と Bell & Howell 両撮影機による曲線は一致すべきであるが差が相当見えるのは Bell & Howell 撮影機の変位—時間特性曲線の精度が Fastax 撮影機にくらべ一段低く、図式微分によって得られた曲線はさらに精度が低くなったためと思われる。R-1 号機の Bell & Howell 撮影機によるランチャーを出て 0.2 秒後の速度は 58m/秒で、2, 3 号機の 62m/秒にくらべわずか速度が低くなっている。



第 4 図 ベビー R (1, 2, 3 号機) 加速度—時間曲線
Fastax H. S. Camera.....(F) Bell & Howell Camera.....(B)

加速度—時間特性曲線 (第 4 図)

第 3 図の速度—時間曲線をさらに図式微分して求めた。図中発射付近が点線となっているのはロケット発射のときの発煙によりランチャー内のロケットが見分けにくく変位—時間曲線ではさほど誤差はないがこれの図式微分を二度行って得た加速度—時間特性曲線では変位—時間曲線のわずかの誤差も大きく影響し曲線の他の部分に比して誤差が大きいためである。

計算値による曲線が矩形をしているのに対して実測値による曲線は計算値による曲線をならした形をしている。測定誤差の少ない(ロケット発射後の時間が長い)ところでは測定値は計算値に良く合っている。

5. あとがき

ベビー R 型では実測値と計算値が良く一致しているのでロケットは計算値に近い状態で飛んだと推定される。このことは高速度カメラ使用によるランチャー付近の撮影、解析結果のほか、ロケット・ボーン・カメラの撮影画面からの解析結果、またはロケットの光学的追跡装置によるロケット飛翔特性の解析などによっても証明されている。

今までのロケット撮影用フィルムはすべて白黒フィルムを使用しているがこれからはカラーフィルムの使用も考えて良いではないだろうか。カラーフィルムを使用すれば黒白フィルムにくらべ機体の区別ははるかに容易になる。ロケットの噴射も白煙か火煙かの区別ができ、ロケット飛翔の状態は一層良く解ると思われる。ネガカラーを使用すればプリントも取ることができる。しかし使用に当っては感度が白黒フィルムに比して一段低いため Fastax 撮影機には現在のままでは使用不可能と思われるし、またカラーフィルムはラチチュードが狭いため、露出決定には慎重でなければならない。価格も 3 倍程度になる欠点がある。

ベビー S 型以来使用している 35mm 版カメラによりその利点が証明されたが大型画面サイズのカメラの使用は今後ますます必要となってくるであろう。撮影駒数如何にかかわらず露出時間を少なくすることはロケットの画像の移動が少なく鮮鋭な像を作るので露出の不足しない範囲で行うべきである。もちろん撮影の駒数を上げることは測定誤差を少なくする意味からも必要である。35mm Bell & Howell 撮影機で 200 駒/秒の速度にすれば一層有効であろう。

Fastax 高速度カメラや Bell & Howell 撮影機はそれぞれの特徴を持っており、Fastax 高速度カメラの撮影範囲は Bell & Howell 撮影機にくらべ狭いが、精度はきわめて高いものが得られる。また Bell & Howell 撮影機は精度は Fastax ほど高くないが広い範囲を鮮明に撮影することができ、さらに追跡撮影することもできる。

今後ロケットが大きくなった場合も撮影されるロケットの像の大きさを今回と同じになるような地点から撮影すればより広い範囲の撮影が可能となりロケット発射付近の性能は十分に知ることができる。このようにロケット発射付近の状態を調べることはロケットの最高高度や最大速度をたしかめる初期条件としてぜひ必要なことである。(1956. 3. 1)

