

光学的追跡装置によるベビー 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6報—

植村恒義・鈴木忠男・深村 巖・戸田健次・山本芳孝

1. ま え が き

ベビー R 飛翔実験に際しロケットを追跡して最高到達高度、落下地点等、飛翔軌跡を求めるため簡易な光学的追跡装置を設計、南北2ヶ所の観測点より追跡を行った。

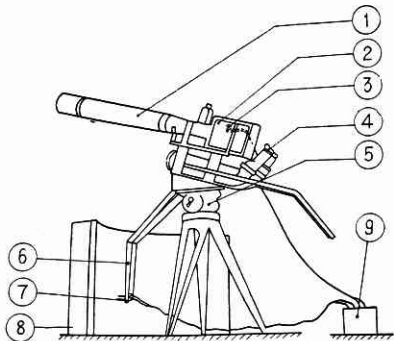
アスカニアのシネセオドライト等このような観測に適し精度のよい器械もあるが、われわれは費用その他の点できわめて節減した装置によって行った。製作期間が短かったため種々不備な点もあったが、解析の結果かなりの精度で飛翔軌跡を求めることができ、今後装置の改良によってアスカニアにはおよぼぬまでも相当の精度で追跡可能の自信を得た。追跡に用いた装置および R-3 号機 (R-1, 2 号機は発射後雲の中に入ったため追跡不能) について得られた飛翔軌跡について記しさらに計算による理論軌跡と比較してみよう。

2. 追 跡 装 置

追跡は南北2地点より行ったが、その装置の外観は口絵写真 4, 5 頁に示してある。

南観測点の装置に同時撮影のための 35mm 望遠撮影機を取付けてある他は、南北同一の装置であるので南観測点の装置について説明する。(第1図)

第1図において(1)は 35mm Devry 撮影機(2)に取付けられた 800mm 望遠レンズ (f/8, Canon) でこれによ

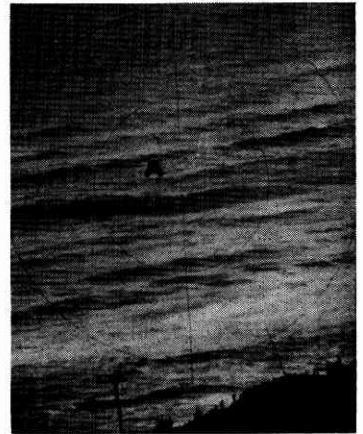


第 1 図 南観測点追跡装置

り追跡が完全に行われたか否かを調べるとともに飛翔状況を撮影することができる。撮影機内部の回転シャッターはロケットの像のブレを防ぐため露出が 1/500 秒となるように円板の切欠きの角を少なくした。撮影速度は毎秒16駒である。フィルムの縁にタイムマークを入れるため後述のタイムマーク用電源から 1/6 秒または 1 秒ごとにネオン管を点滅させた。(3)はその配線を示している。以上

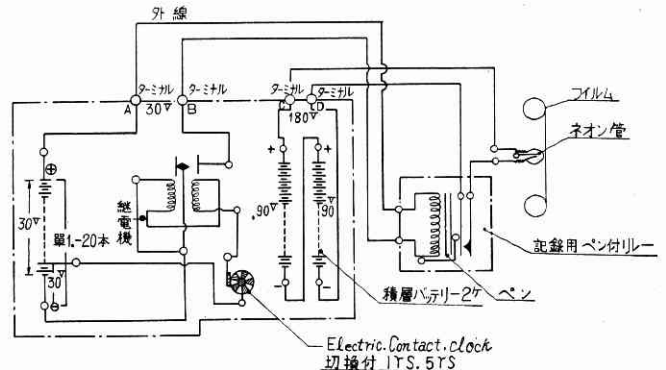
が南観測点のみに付した装置で以下の追跡系は南北同様の装置である。

観測者は双眼鏡(4)の視野の中央にロケットを捕捉しつつ俯仰旋回自由の3脚架台(5)に取付けられた装置全体を2本の腕によって移動し追跡する。双眼鏡は口径



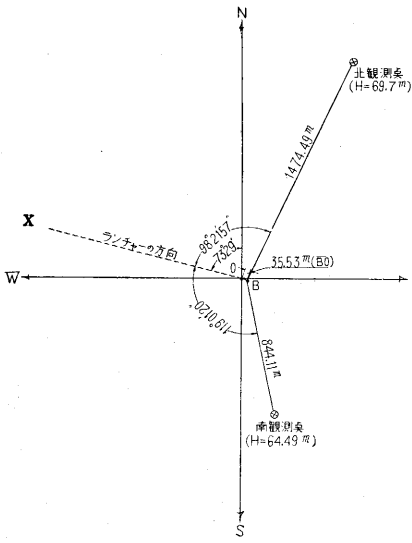
第 2 図 追跡用双眼鏡の視野 (目標はヘリコプター) 東京光学製のもの
でその視野には第2図に示す如く十字線および 1°, 2°, 3° の視野を示す円輪が入っている。

観測者の追跡動作に伴い記録用腕(6)に取りつけられたペン(7)は記録板(8)の上に俯仰、旋回角を連続的に画いて行くわけである。記録板の形状は半径 50cm、高さ 80cm の円筒の一部で、ペンは簡単のためボールペンを使用してみた。この記録装置による角度の測定精度は最適条件の場



第 3 図 タイムマーク用電源回路図

合約 30% である。なおペンが図でも分かる如く 2 本あるのは、同時に軌跡を平行に 2 本画かせ、その中の 1 本にはタイムマーク用電源(9)からの電流により電磁石を働かせ、曲線上にタイムマークを小さなピークとして表わすためである。タイムマーク用電源の配線図を第3図に示した。時刻規準は 1/6 秒および 1 秒ごとの接点を有する電接



時計を用いた。

3. 測定準備

南北観測点は、第4図に示す位置に設定した。同図においてBは標識点、Oはランチャーの位置を表わしBOの延長すなわちBXはランチャーの方向を示している。

第 4 図 南北観測点の位置

図中の角度実距離、標高等の測量数字は測量班の測定したもので以後の解析にはすべてこの数値を用いて行った。

追跡装置の組立、記録板の芯出しを終った後、飛翔前に仰角は水平線を基準とし、旋回角はB標点(第4図)を基準として記録用紙に10°ごとに0~90°の水平、垂直線を描かせておき、後の角度測定の基準とした。

なお南観測点のDevry撮影機はR-1フィルターを使用、f/8でフィルムは富士ネガフィルム(ASA80)を用いて撮影した。(口絵8,9頁参照)

4. 記録結果

R-1,2号機は天候不良のため、全航跡の追跡は不可能であったが、R-3号機は曇もなく全航跡の追跡に成功した。

得られた軌跡を見ると、発射直後は加速度が大きいためか、やや凹凸を示しているが、頂点付近になると南北両観測点共相当の精度で捕捉している。特に南観測点は同時撮影を行っているが、その撮影結果を見るとほとんど画面中央部に捕捉しているのを見ても(Canon 800 mmの視野を考慮すると約1°の範囲に相当する)装置の重量等でずっと条件のよい北観測点も同等の精度で捕捉できたと思われる。ただ北観測点では切断装置作動瞬間時の後しばらくエンジン部を追跡したためパラシュートの落下軌跡はその間については得られなかった。

タイムマークは落下傘の開く前まで1/6秒、以後1秒ごとに切替えて働かせたのであるが、Devry撮影機の画面には鮮明に記録されたが、軌跡曲線の方はやや判読困難でタイムマークによって直接同一時刻の2地点からの仰角旋回角を知ることはできなかった。

5. 飛翔軌跡の解析

南北両観測点より得られた2つの曲線から、実際の飛翔軌跡を求めるわけであるが、タイムマークによって同一時刻の南北観測点からの仰角、旋回角が分れば問題は

きわめて簡単であり、余分の一つのデータにより精度を検討することもできる。またロケットがランチャーを含む垂直面内を飛んだとすれば、軌跡は1観測点からの測定値により、その観測点を通り得られた仰角、旋回角によって決定される直線群のなす曲面と垂直面との交線として簡単に求められる。

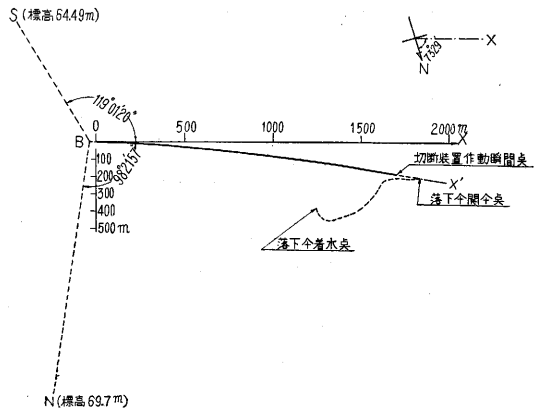
今回の場合、南観測点のタイムマークが不完全であり、かつロケットはランチャー方向よりかなり右に偏して飛翔したので上記の方法は不可能であり、両観測点の測定値によって決定される曲面の交線として飛翔軌跡を求めればよい。しかし実際には解析的に二つの曲面の交線を求めることは困難であるので次の如く step by stepの方法によって軌跡曲線を求めた。

1) ランチャーを含む垂直面と、両観測点において得られた俯仰旋回曲線によってきまる交線、s, nを画く。s, nはロケットがランチャーを含む垂直面内を飛翔しない場合はこれら二つの曲線は一致しない。

2) 曲線n上の1点Pに対し、s上の対応点Qを仮定する。P, Qの旋回角を用いて水平面上で交叉させ、観測点よりその点までの水平実距離を求め、それぞれの仰角によって二つの高さh_n, h_sを求める。h_n, h_sは一般に一致しない。

3) Pの対応点Q'を取り直して同様のことを繰返し二つの高さが一致するようなQ'を求めれば二つの曲線上の対応点(同一時刻に相当する)を求められる。

各点について以上の方法を繰返して求められた飛翔軌跡を水平に投影した曲線および、ランチャーを含む垂直面に無限遠より投影した曲線が第5図および第6図である。

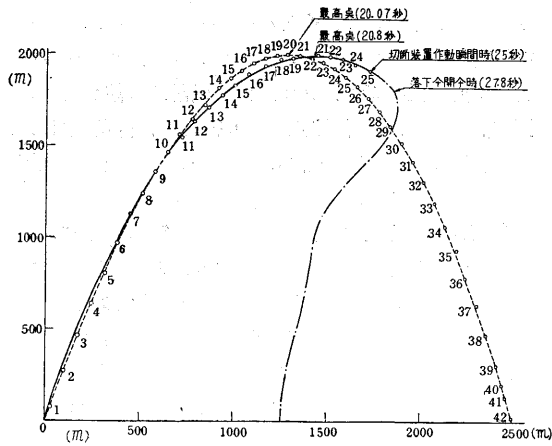


第 5 図 R-3 号機水平飛翔軌跡

OX': R-3号機における飛翔方向 OX: ランチャー方向 BN: 1474.49m BS: 844.11m OB: 35.5m O: ランチャー設置点

第5図によって明らかな如くR-3号機はランチャー方向OXに沿わず、かなり北側に方向を変化しつつOX'の方向に飛翔した。

実線はロケットがランチャーを飛び出してから25秒後の切断装置作動瞬間時までを示し、点線は以後回収部



第 6 図 R-3号機垂直飛翔軌跡

分が落下傘と共に海面に着水するまでの変位を示している。

第 6 図は実線および 1 点鎖線で光学的追跡による飛翔軌跡を、点線は理論計算による飛翔軌跡を示している。なお同図には北観測点において得られたタイムマークにより得られた時間軸を軌跡上に記入した。

6. 理論値との比較

第 6 図中には次のデータによって計算した理論上の軌跡を同時に示してある。もちろんこの計算はランチャー方向に飛ぶものとして行ったものであり、実測結果の曲線は前述の如く実軌跡をランチャー垂直面内に無限遠より投影したものであるため仰角は実際よりも大きく(水平距離は小さく)現われている。この点を考慮すれば理論曲線および本追跡による曲線はかなりよく一致しているといえよう。

計算に用いたデータ

	ブースター	メインロケット
自重	1.0kg	8.12kg
燃料	155g	1.0kg
推力	524kg	112kg
燃焼時間	0.0615秒	1.605秒
発射角	72.5°	ランチャー長さ
		0.0085秒

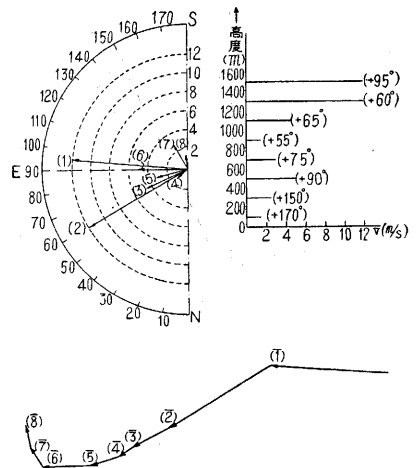
計算方式は赤川研究室で行った方法と同じである。

観測値と計算値の比較 (R 3 号機)

	観 測 値			計 算 値	
	垂直距離	水平距離	右偏向	垂直距離	水平距離
最高点	1988m	1432m	115m	1997m	1285m
放出点	1910	1716	175	1878	1589
着水点	0	1260	385	(0)	(2498)

7. 落下傘の降下特性

ロケットの発射より 25 秒後にエンジン部分と回収部



第 7 図 落下傘の降下特性、上図は各高度に於ける平均水平移動速度を示したものの、下の図はベクトル的に表わしたものである。次の表にそれらの値をまとめてある。

(番号)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
高 度(m)	1400 ↓ 1600	1200 ↓ 1400	1000 ↓ 1200	800 ↓ 1000	600 ↓ 800	400 ↓ 600	200 ↓ 400	0 ↓ 200
方向(N基準)	95°	60°	65°	55°	75°	90°	150°	170°
V (m/s)	12	12	4.5	1.5	3	5	2.5	1.5

分間の切断装置が作動し続いて回収部分を緩速度で降下させるための落下傘が押し出される。この落下傘の開傘時より着水までの降下特性について解析してみた。この場合の落下傘の垂直平均降下速度は 12.2m/sec であるが、水平方向の運動は第 7 図でも分る如く複雑な曲線をえがきつつ降下している。この曲線より落下傘の各高度における水平移動速度の大きさ、およびその方向をベクトルで表わしてみると第 7 図のようになる。これは各高度における風向、風速の著るしい影響によるものでこのような降下特性の解析により、上空における気流の状況の解析も可能であろう。

8. む す び

以上今回使用した追跡装置による追跡結果について述べたが比較的簡易な装置にも拘らず相当の精度で飛翔軌跡が求められることが分った点は成功であった。今後さらに装置の不備な点例えば俯仰旋回の移動をさらに円滑にすることや、タイムマークを完全に判読できるようにする等改良を加えることにより、一層簡単に精度のよい解析が行えるようにしたい。

今後本格的なロケットとなり上昇高度が数 10km ないし 100km 以上になった場合でも、望遠鏡系の倍体を適当に選ぶことによって全航跡の光学的追跡が可能であり、落下回収の際には落下地点の確認等に大いに役立つものと思われる。

(1956.3.1)