

# ベビー R 用 ロケット・ボーン・カメラ

—高速飛翔体の光学的追跡に関する研究 第 7 報—

植村 恒義・中村 日色・伊藤 寛治・山本 芳孝

## 1. まえがき

ロケットにカメラを搭載する目的としては i) 外界を撮影することによりロケットの運動の解析資料を得る. ii) 飛行機では達し得ない高空よりの航空写真を得る. iii) ロケット内部に装置された諸計器の目盛り等をフィルムに撮す. iv) 動物を載せた場合その生活状況を撮影する等の点が挙げられる.

1955年11月1日～4日の飛翔実験において、海上回収に成功したベビー R 1号機および3号機には本邦始めてのロケット・ボーン・カメラが i) の目的をもって搭載され空中撮影に成功し、貴重なフィルムが得られた。この実験において一応の撮影に成功したとはいえ、機構その他の点については決して満足なものではなく、今後の改良に待つべき点が非常に多いのであるが、今回使用したカメラの性能およびその撮影結果について報告する。

今回の結果からも、他の追跡方法では解析し難いロケット自体の飛翔姿勢およびスピンの(軸の周りの回転)がかなり数量的に解析されたことを考えると、今後さらに優秀なカメラを搭載することによって、高度、仰角、スピン等ロケットの姿勢を含めた飛翔特性がロケット・ボーン・カメラ 単独により得られることも可能と思われる。高度 100km 以上ともなれば温度、気圧、加速度等外的条件の範囲が非常に広く種々の問題を解決せねばならないのであるが、この報告がなんらかの意味で今後の参考となれば幸甚である。

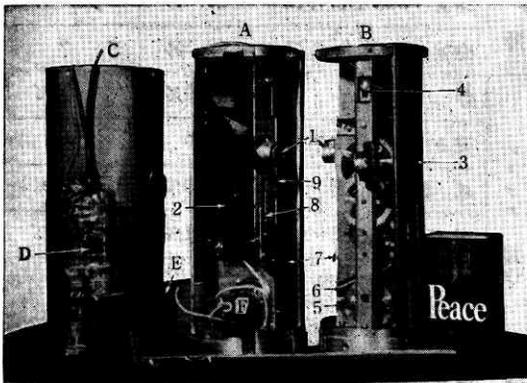


写真-1 ベビー R 用ロケット・ボーン・カメラの構造

## 2. 機構と諸元

カメラは外径 72.5mm、長さ 189mmの円筒状軽合金ケースに収められており、フィルム、電池等全装備重量 720～730gr である。外観および構造は写真-1に示され、

A がカメラ部、F が時間制御用モーター、B は後側の駆動部を示している。フィルム装填後蓋 E を閉じ、その上にモーター駆動用電池 D を乗せ配線して最後にケース C を覆せてロケットに搭載する。

### i) カメラ部

レンズ 写真 (1) ロッコール 23mm, f/3.5 使用の際には赤色フィルター(R2)を用い絞り f5.6 でフィルムは Kodak 製 16mm High Speed Camera 用 SuperXX を用いた。

画面の大きさ 14mm×10mm

シャッター 特殊ギロチンシャッター 露出約1/300秒

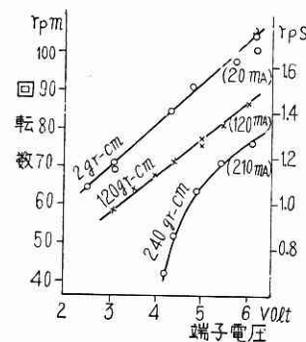
### ii) 駆動部

フィルムの巻き取り(2)およびシャッターの戻しの動力は置時計用のゼンマイ(3)から得ている。起動用接点(4)が閉じると単三 1.5V を 4 個直列にした D.C. 6V の電源によりモーター F が回転し、モーター軸についたレバー(5)は 1 秒に約 2 回の割合でレバー(6)、(7)を叩き、バネで引かれているシャッターの爪(8)を外し、ギロチンシャッターはレンズの直後を走って露出する。レバー(6)が元の位置に戻る瞬間にゼンマイからの動力の鉤が外されてカム(9)によりスプール(2)が一駒分回転すると共に、シャッターの先幕および後幕が元に戻されるようになっている。すなわち、簡単にいえばゼンマイの動力を主動力とし、モーターによって時間的に駒数を制御しているわけである。なおモーターは 6V 4300 r.p.m. のマイクロモーターをギヤーにより  $1/60$  に減速し(日本マイクロモーター

—K. K製)で用いた。

このモーターの特性は第 1 図の通りである(当所第 3 部沢井研究室による)。電圧による回転数の変化は相当大であるがこの場合短時間の使用であり、何よりも小型軽量にできています(ギヤーボックスを含めて 81g) 適当なものといえよう。

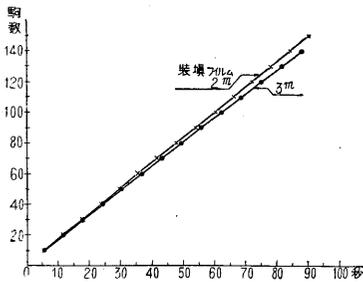
ゼンマイの取り付け、巻き取りカム、シャッター先幕等については不満足な点が多く今後のものはさらに機構を簡素化するようにすべきであろう。



第 1 図 マイクロモーターの端子電圧—速度特性

3. 性能試験

カメラは7台試作したが飛翔実験までの時日が少なく十分テストを行う余裕がなかった。行った試験は駒数—時間特性、加速度試験、簡単な撮影試験だけである。



第2図 R3号機使用のロケット・ボーン・カメラ駒数—時間特性

ゼンマイがゆるみ切るまでの駒数—時間特性は装填するフィルムの長さを一定にすれば、今回の実験用としてはほとんど直線とみて差支えない程度であった。

したがって実際に使用する場合にもフィルムの長さを規定して使用した。1例としてR-3号に使用したカメラNo.5の駒数—時間特性を第2図に示す。

加速度試験はカメラを回転させ遠心力により加速度を100gまで加えてみた。しだいに回転数を増しシャッターの停止したときのgの値および100gより回転を下げて行って再び作動し始めた時のgの大体の値を求めておいた。結局試作した7台のうち構造的な欠陥により使用不能のもの2台、電気接点不良のもの1台で、残り4台が使用可能であった。7台の試験の結果を第1表に示す。なおシャッターの先幕の運動不安定のため、モーターが正常に回転しゼンマイからの動力が正常に伝わっていても撮影が不完全となる場合のあることが後に分った。

第1表 性能一覽

カメラ No.	1	2	3	4	5	6	7
機 構	構造不備により使用不能	良	部品破損のため不調	良	良	良	接点不良
秒 / 駒数		0.50		0.77	0.60	0.67	0.65
最大撮影駒数		130		130	110	110	80
装填フィルム最長(m)		2.5		2.5	2	2	2
加 速 度 試 験		25		0	8	10	9
	8	0	5	5	0		
使用ロケット				R 1	R 3	R 2	

4. 撮影結果について

R 2号機は回収不能に終わったため、フィルムを回収できたのはR1,3号の2本であった。うちR 1は天候不良のため雲中撮影が大部分で撮影対照の判然としているのは発射後5秒頃の2,3駒だけであった。R 3は天候に恵まれて良好な画面が約30駒程得られ(第2表および口絵10~12参照)、これから頂点までの時間、放出の時刻等が推定できた。ただし、メインエンジンの噴射中約1.6秒間はカメラは停止し、その後地上でテストした場合の駒数

第2表 R 3号機による撮影結果

駒番号	撮 影 結 果
-27	係員がカメラ始動の直後で係員の顔を撮す
-26~-13	係員の待避状況
-12~-1	発射を待つ掩体付近の班員
1	発射瞬間、画面は前と同じであるがヤブレている
2~4	シャッターはぜんぜん開かなかった
5, 19, 22, 29, 33, 38	逆光線に近く南方上空の雲が撮っている。38は丁度太陽の方向を撮影
6, 12, 15, 20, 40	北向き下方の海面を撮影。40には直下の海岸線の一部松林が、12には水平線の一部が撮れている
7, 10, 13, 25, 28, 32, 37	ほとんど真上向に近く上空の雲と空を撮影
8, 17, 26, 30, 34, 39	南方の海面を撮影し、太陽の海面による反射光が逆光となるような方向である
9, 18, 21, 24, 36	北方海岸線の曲線および地平線、水平線が撮されており解析に最も役立つ画面、21は雲のみ
11, 14	南方海岸線および水平線、逆光に近いので海岸線は前者ほど明瞭ではない
16, 21, 23, 35	シャッター動作不良のため不明

—時間特性と同じに作動したと仮定して計算した。他のより確実な測定—例えば発射より放出までを撮影した映画より測定された時間とくらべても大差ない値が得られている—もちろん土(駒の間隔の時間)の誤差は免れない。なおR 1の場合も前述のシャッター先幕の作動不安定による画面の切れ工合から頂点、放出点の時刻が大体推定された。

R 3の場合は放出と同時にカメラは停止したが、R 1は放出のショックにも耐えて作動し続けている。

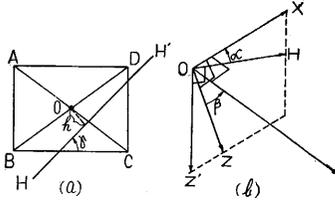
飛翔中における作動および推定した時間は第3表の通りである。

第3表 飛翔中におけるカメラ作動状況

		R1号機 (No.4)	R3号機 (No.5)
空中撮影駒数		67駒	40駒
時 間	発射→頂 点	23.5秒 (±0.7)	22.8秒 (±0.6)
	発射→切断装置作動	25.6秒	25.8秒
	発射→落下傘完開	27.3秒	?
シャッター動作	静 止	90%	85%
	発射直後約2秒間	0	0
	以後上昇中	55%	73%
	頂点附近約8秒間	81%	80%
	落下傘完開後	90%	/
飛翔中(放出迄)平均		62%	70%

5. R 3号機の仰角およびスピンの

R 3号機の撮影した画面のうち、地(水)平線が写っているものからロケットの仰角およびスピンの状況を解析してみた。第3図(a)において画面をABCDとし、画面の中心をO、撮影された水平線をHH'、OよりHH'に下した垂線の長さをhとする。HH'と画面の縁BCのなす角



$r$  および  $h$  をレンズの焦点距離  $f$  を用いて角度に換算した  $\delta (= \tan^{-1}(h/f))$  の二つが画面より得られる。

一方ロケットを考えると第3図(b)においてOXをロケットの軸方向、OZ'を垂直下向き(Oと地球の中心を結ぶ)、OLをロケット・ボーン・カメラのレンズの方向、OHを垂直面内において水平面に平行な方向、OZをHOZ'面内で $\angle HOZ = \angle R$ なる方向とすれば $\angle XOZ = \alpha$ はロケットの仰角、 $\angle ZOL = \beta$ はロケットの軸の周りの回転角すなわちスピンを示す。

地球を球面と考えロケットの高度を地球の半径に較べて小さいものとするとき次の近似式が成立する。

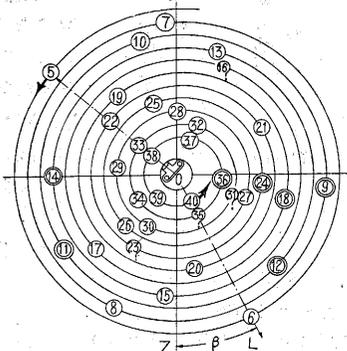
$$\sin \alpha = \sin r \cos \delta \dots\dots\dots (1)$$

$$\tan \beta = \cos r \cot \delta \dots\dots\dots (2)$$

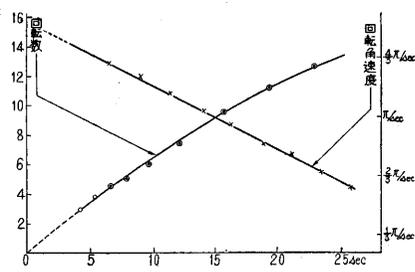
R3号機より得られたNo.9, 11, 12, 14, 18, 24, 36の計7駒は上式の中の  $r, \delta$  を求められる画面である。これ等の画面より  $r, \delta$  を求め(1), (2)式を用いて  $\alpha, \beta$  を求めると第4表の結果が得られる。なお表には駒数より得られた時刻と本号70頁の理論値より求めた仰角の値を併記しておいた。

第 4 表

駒番号	時刻 (秒)	$\beta$ (スピン)	$\alpha$ (仰角)	仰角理論値
9	6.5	87°	65°	64.3°
11	7.7	-57	63	62.3
12	8.3	58	60	61.2
14	9.5	-90	57	58.5
18	12.0	78	55	51.5
24	15.6	82	40	35.3
36	22.8	84	0	-23.0



上の結果を基にしてロケットのスピンの状況を図示すると第4図の如くなる。◎は上記解析を行った駒、○は撮影対称が判然としていて大体の方向が明らかかな駒、?は画面が判然とせず前後の関係から方向を推定した駒を示している。さらにこれを回転数および回転角速度として図示したのが第5図でこれより見るとR3号機は発射後



第 5 図 R3号機のスピン状況

約7秒後1秒間に2/3回転、頂点付近では1秒間に約1/4回転の割合で進行方向に対し反時計方向に回転したことが分る。

6. むすび

今回使用されたカメラは決して本格的なロケット・ボーン・カメラとはいえない。到達高度が2km位であったため種々の外的条件はほとんど考慮する必要がなかったからである。にもかかわらず撮影に一切は成功しロケットのスピンを求め得たことは、ロケット・ボーン・カメラがロケットの飛翔状況を解析するのに有能な武器であることを教えさせる。

上昇高度が100kmないしそれ以上になった場合克服すべき条件はあまりにも多い。以下にのべるような主要と思われる点を改良し、回収に再び成功すればロケット・ボーン・カメラは高度を始めとして地上からでは知り得ない飛行姿勢の解析に大いに役立つであろう。またその画面は他の用途たとえば気象方面にも役立つようなデータを与えてくれるかも知れない。

1) カメラ自体の設計を根本的に改良、簡素化し、回転部分はすべてロケットの軸の周りを回転するようにしその軸受方法に注意する。これによって加速度に対する特性を向上させることができる。

2) 空気の摩擦熱による温度上昇に対する耐熱機構(地上発射到達高度100kmではロケットの表面温度+300°C程度と計算されている)、ならびにバルーンランチングを行うとすれば耐寒機構(この場合は-80°C程度になる)、レンズ面の曇りやフィルム自体の性質についても検討を要するであろう。

3) 撮影速度の増大、もしくは数台のカメラによる同時撮影、ロケットの姿勢判定には今回の駒数では遅すぎる。

4) カメラの始動を電気的な遠隔操作によって行うようにすると共に発射の衝撃により始動する方法を予備装置として付加する必要がある。

5) シャッターの開閉状況を地上に通信し、各画面の正確な時刻を知り得れば解析上非常に有効となる。今回の場合地上テストの場合と同じに働いたという仮定をしなれば正確な時間軸は得られなかった。シャッターが開いた瞬間に発信し地上でキャッチするような方法を考えるべきである。

6) あらかじめ飛翔実験地の航空写真を各種高度より撮影しておき、ボーン・カメラによる撮影結果と比較検討できるようにする必要がある。

7) できれば海面上に適当な目標を配置しロケットの高度ならびに位置を求めるのに必要な長さの基準とする。今回の画面では方向のみは分ったが高度等実距離は解析し得なかった。

8) その他広角レンズの使用、フィルムサイズを35mmまたはそれ以上にする。カラーフィルムの使用、撮影方向を発射地点の方に曲げること等を考慮すべきである。末筆ながら本カメラの製作を引受けられた甲南カメラ研究所ならびにケース製作取付を分担された大倉製作所に謝意を表する次第である。(1956. 3. 1)