

# 高速度カメラによるカッパ S・ロケット飛しょう特性の解析

— 高速飛しょう体の光学的追跡に関する研究 第 9 報 —

植村恒義・伊藤寛治・山本芳孝・中西公弘・伊藤房江

## 1. まえがき

昭和 31 年 9 月下旬、秋田道川海岸においてカッパ 128 J-S 型ロケットの飛しょう実験を行ったが、昭和 30 年度に実験したベビー・ロケットにくらべ、その規模は一段と大となり、上昇高度飛しょう特性は著しく向上してきた。光学的追跡部門を担当するわれわれの研究室では、ペンシルからベビー・ロケットに到るまでの過去の実験結果に基づき、カッパ・ロケットに適した種々の光学的撮影追跡装置を製作準備し、本実験に使用して一応の所期の成果をおさめることができた。

これらのうち高速度撮影装置による実験の概要並びに解析結果を報告する。

## 2. カッパ 128 J-S ロケットの諸元

### a) カッパ 128 J-S 型ロケットの諸元

総重量 37.8 kg

全長 2.26m

直径 128mm

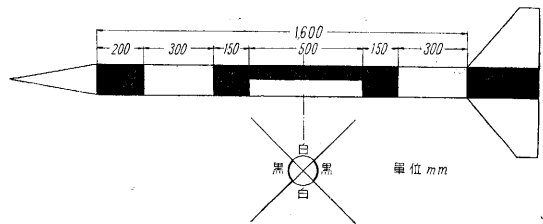
### b) ロケットの塗装について

ロケットの塗装は実験条件により種々問題があり、もっとも良い塗装はロケット飛しょう時の天候によって左右され、写真的に良好な状態と望遠鏡追跡に良好な状態は必ずしも一致しない。

肉眼によるバックが完全に青空で、太陽光が正面光として照射する場合、写真撮影上ではロケットを白色とし、撮影機に赤色系のフィルターを使用して青空を黒く落し、ロケット像を白く浮上らせる方法が良いが、太陽光が逆光となったり、バックが白雲に覆われてしまった場合には、むしろロケットは黒くした方がコントラストは良い。

撮影機による撮影と同時に望遠鏡による追跡が行われることを考えれば、ロケットは無彩色よりも彩色を使用した方がよい。しかし写真的には白黒が最もコントラスト良く撮れる。

実験には、これらの点を考慮して第 1 図に示すような黒色と白色の塗装を使用した。

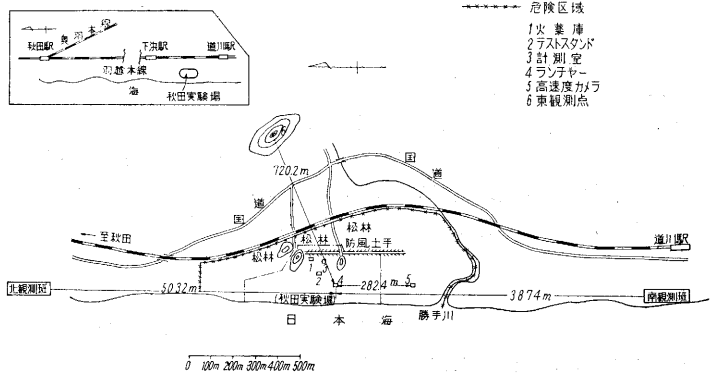


第 1 図 128 J S 型ロケット塗装図

## 3. 使用した撮影装置

ランチャーは昭和 30 年度行ったベビー型ロケット実験場より約 800 m 北方に設置された。(第 2 図参照) カッパ 128 J-S 型ロケット飛しょう実験には、高速度撮影と同時に、ランチャー北方 5 km の砂丘上の北観測点

秋田実験場附近図



第 2 図 秋田実験場付近図

第 1 表 カッパ S ロケットの Camera Dat

		KS 1 号機	KS 2 号機	KS 3 号機
(1) 16mm	レンズ	ニッコール 180mm F: 2.5	101mm F: 3.5	K 1 と同じ
Fastax	絞り	F: 2.5 開放	F: 3.5 開放	K 1 と同じ
高速度カ	Filter	なし	なし	なし
メラ	カメラ電圧	50→46→50V	53→47→53V	43→39V
	同期	手動(発射1秒前)	K 1 と同じ	K 1 と同じ
	撮影速度	1,200 駒/秒	1,000 駒/秒	1,400 駒/秒
	1駒の露出時間	1/6,000 秒	1/5,000 秒	1/7,000 秒
	画面	ランチャー付近	K 1 と同じ	K 1 と同じ
	Film 種類	Tri-X ASA 200	K 1 と同じ	K 1 と同じ

と南方約 4 km はなれた南観測点、東北東 720 m の丘上の東観測点の三観測点より光学的追跡を行うので、ランチャーはできうるかぎり海岸近くに設置した。

高速度カメラ班は、ランチャー南方 280 m の地点に位置し、第 1 表に示すようなカメラ群を使用した。

### a) 16 mm Fastax 高速度カメラ

このカメラはペンシル・ロケット実験

		KS 1号機	KS 2号機	KS 3号機
(2) 35mm B & H 撮影機	レンズ 絞り Filter 撮影速度 1駒の露出時間 挿下し モータ 画面 Film 種類	ニッコール 250mm F: 4 F: 4 開放 Wratten No. 25 50 駒/秒 $12^\circ=1/1,800$ 秒 高速度用 High Speed Motor ランチャー付近より上空へ Tri-X ASA 200	K 1と同じ K 1と同じ K 1と同じ 24 駒/秒 $5^\circ=1/1,700$ 秒 普通用 K 1と同じ K 1と同じ K 1と同じ	K 1と同じ F: 5.6 K 1と同じ K 2と同じ K 2と同じ K 2と同じ K 1と同じ K 1と同じ K 1と同じ
(3) 35mm Devry 撮影機	レンズ 絞り Filter 撮影速度 1駒の露出時間 タイムマーク モータ 画面 Film 種類	キャノン 800mm F: 8 F: 8 開放 なし 10 駒/秒 $24^\circ=1/150$ 秒 電接時計 1/5秒毎 67.5V×2 マイクモータ ランチャーより上空 Fuji-Nega ASA 80	使 用 せ ず	K 1と同じ K 1と同じ 橙 16 駒/秒 $24^\circ=1/240$ 秒 K 1と同じ K 1と同じ K 1と同じ K 1と同じ
(4) 16mm Cine-Kodak Special 撮影機	レンズ 絞り Filter 撮影速度 1駒の露出時間 画面 Film 種類	Zoomar F: 2.8 F: 8 なし 24 駒/秒 open 1/48秒 ランチャーより上空 Kodachrom ASA 16	K 1と同じ F: 11 Y 2 K 1と同じ K 1と同じ K 1と同じ Fuji Nega	K 1と同じ F: 5.6 なし 48 駒/秒 1/2 1/290秒 K 1と同じ K 1と同じ
(5) 16mm Filmo 128 撮影機	レンズ 絞り Filter 撮影速度 1駒の露出時間 画面 Film 種類	エクター 102mm F: 2.7 F: 8 Y <sub>2</sub> 128 駒/秒 1/250 秒 ランチャーより上空 Super-XX	K 1と同じ K 1と同じ G K 1と同じ K 1と同じ K 1と同じ K 1と同じ	25mm F: 1.9 F: 16 なし K 1と同じ K 1と同じ ランチャー付近固定 K 1と同じ
(6) 16mm Filmo 撮影機	レンズ 絞り Filter 撮影速度 1駒の露出時間 画面 Film 種類	使 用 せ ず	使 用 せ ず	エクター 102mm F: 2.7 F: 5.6 R 64 駒/秒 1/130 秒 ランチャー付近より上空 Kodak Infrared

からベビー R ロケット実験まで数多く使用され、ランチャー付近の状態の観察には極めて良い装置である。撮影結果の解析精度は他の撮影機にくらべ、一段と高く、必要ならばタイム軸の精度は 1/10,000 秒以下の誤差にすることができる。固定のまま使用した使用条件は第 1 表に示した通りである。

#### b) 35 mm Bell & Howell 撮影機

この撮影機は 35 mm 版のため 16 mm 版撮影機にくらべ、広角レンズで広い視野を撮影しても鮮明な画像が得られることと、撮影速度が 100 駒/秒 以下自由に変えられシャッタ開角度も変化できる特徴がある。

フィルムは最大 400 feet まで付属のマガジンで連続撮影できるので追跡撮影を行った。フィルムは高速度撮影の場合を考慮し Eastman-Kodak Tri X を用いた。

#### c) 35 mm Devry 撮影機

ベビー R ロケット飛しょう実験の際には、南観測点において追跡用の撮影機として使用したものである。型が古く撮影用駆動はゼンマイによるもので連続撮影はでき

ず、撮影速度は 16 駒/秒一定のものであった。これを連続撮影できるよう動力として小型直流電動機を使用し、レンズは長焦点キャノン 800 mm レンズを付加し、ロケットが遠方へ飛しょうした後も十分の大ききで撮影できるようにし、追跡撮影を行った。

#### d) Cine Kodak Special II 撮影機 Filmo 16 mm 撮影機

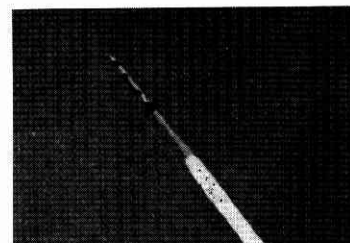
Cine Kodak Special II 撮影機は一般記録撮影用として撮影を行った。Filmo 撮影機も同じく一般撮影用として使用し追跡を行った。Cine Kodak 撮影機にはカラーフィルムを使用し、レンズは可変焦点距離レンズ (Zoom レンズ) を使用してある。16 mm フィルム撮影機には赤外フィルムを使用した。レンズは 102 mm の長焦点を使用した。

#### 4. 撮影結果

1号機は 9月24日 A. M. 9時2分<sup>7</sup> 発射角度 60° で磁気的真西に発射された。ロケットの先端部には発煙剤として 4 塩化チタン 2 kg を装填したが発煙状況があまり良好でなく、雲一つない快晴であったが、光学的追跡はほとんど不可能に終り、ランチャー付近の 20~30m の範囲の特性を Fastax カメラ、および 35 mm Bell & Howell 撮影機、35 mm Devry 撮影機等により詳細にその特性を知ることができた。

Fastax カメラにはニッコール 180 mm

レンズを付加し、撮影速度 1,200 駒/秒で撮影した。イグナイト点火後約 30 m sec で、ロケットは発進を始めている。エンジンノズル部と火焰との間には第 3 図の写真のように約 2 m の見えない部分が存在しており、火炎の形状も独特の形をしており地上テストスタンドにおい



第 3 図

で行ったカップ用ロケット・エンジン燃焼実験の高速度写真に比べると、いさか様相を異にしている。

35 mm Bell & Howell 撮影機にはニッコール 250

m 長焦点レンズを使用し、Wratten. No. 25 フィルターを付加して撮影したが、きわめて良いコントラストを得、塗装の白黒の模様も鮮明でランチャーの基準用白線も明

瞭に写っている。天候がよく青空がバックの場合には白黒の塗装は非常にいいコントラストを得ることができるようである。

**2号機**は9月28日A.M. 11時15分に発射角60°で発射したが、1号機の発煙不良にかんがみ、発煙量を増加させるため、ロケット先端部には6kgの四塩化タンを装填しさらに尾翼に六塩化エタン発煙筒をとりつけた。そのため発煙はスタート時から良好であったが上昇後、翼が飛び発射後約1.5秒高度400mの位置で胴体が破壊し、頭部は白煙を引きながら海中に落下した。エンジン部は東南方約600mの位置に落下した。

高速カメラ群による追跡撮影と光学的追跡装置による航跡追跡いずれも完全に成功した。

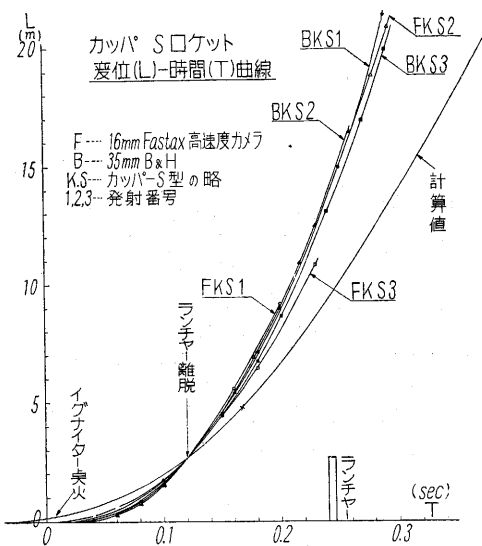
Fastax カメラは1号機と同様、固定で撮影しランチャー付近の飛しょう特性を正確に求めることができた。

35mm Bell & Howell 撮影機は発射から胴体部の切断、頭部の海中落下まで完全に追跡撮影できた。機体の振動、翼の飛散、胴体部の切断等事故の起る過程を詳細に知ることができた。

**3号機**は9月29日A.M. 10時50分、発射角60°で発射された。天候薄曇、3号機は2号機の事故にかんがみ、1号機と同一条件の発煙装置とし、さらに安全のため尾翼端70mmを切断し尾翼面積を減少させた。発射結果は1号機と同様異状なく飛しょうした。発煙はやはり不良に終りカメラによる追跡撮影は良好でなく、ランチャー付近の飛しょう特性のみを詳細に知り得た。

**5. 解析結果**

Fastax および Bell & Howell 撮影機で撮影した画面からカッパ1号機、2号機、3号機の変位-時間特性、速度-時間特性、速度-変位特性、加速度-時間特性を解析し計算値と比較した。



第 4 図

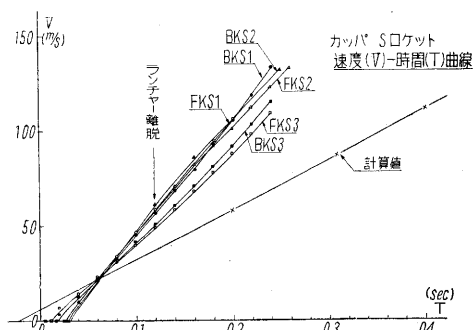
**変位-時間特性 (第 4 図)**

縦軸にロケット変位  $L$  を  $m$  単位で、ランチャーの下端を原点として表わした。横軸は秒単位で時間を示す。時間軸の原点としてはロケット発射瞬間を取らず、ロケットがランチャーを完全に出た瞬間を取って、3機の時間原点とした。これはロケット発射付近は時間に対する変位の変化率が少いため、変位のわずかの誤差も時間軸では大きく影響するため時間の原点を判定し難く、後におよぼす影響が大となるので、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原点にとってそろえた。

Fastax および Bell 撮影機によるそれぞれの解析結果をまとめて第4図に示した。曲線の記号でFはFastax, BはBell撮影機によるものである。

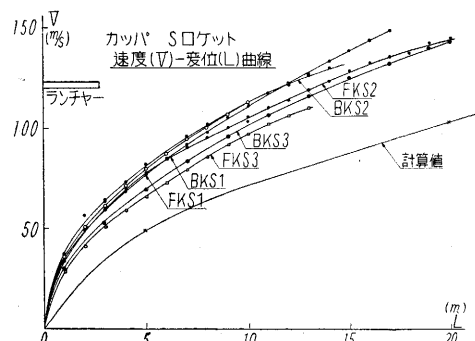
この図からわかるようにKS1, 2, 3号機とも、測定値は、割合よく一致している。空中分解した2号機も1, 3号機にくらべて、別に差異はみとめられない。すなわち発射後20m位の範囲では2号機は特に異状なく、飛しょうしているものと考えられる。しかし計算値にくらべると、いずれも変位は著しく大きくなっている。

**速度-時間特性 (第 5 図)**



第 5 図

第5図の速度-時間特性曲線は第4図の変位-時間曲線を図式微分して求めたものである。1号機、2号機は割合よく一致しているが、3号機は少し速度が小になっている。しかし、いずれも計算値にくらべると約2倍の



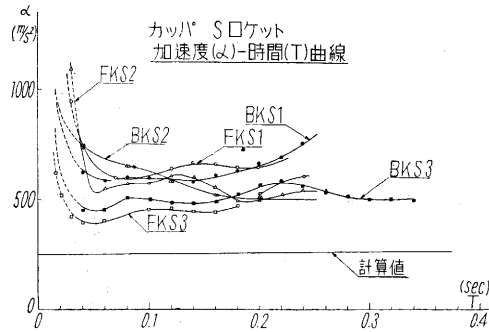
第 6 図

速度がでている。ランチャー離脱の速度は、計算値では 25 m/sec であるが、実際には 50 m/sec 以上の速度がでていることがわかる。これらの結果からみると、発射時の飛しょう特性は設計値よりずっと安定した状態にあると考えてよいであろう。

速度—変位特性 (第 6 図)

第 6 図は第 4 図、第 5 図から求めたもので、横軸は変位、縦軸は速度を表わす。

加速度—時間特性 (第 7 図)



第 7 図

第 7 図は第 6 図の速度—時間曲線をさらに図式微分して求めたものである。これらの曲線は変位—時間曲線を二度微分してえたもので、相当の誤差の混入は避けえないが、発射後 40~50 msec の間には 70~80 g の加速度を生じている可能性があり、また 300 msec の間では、設計計算値 23 g の 2 倍以上の加速度が存在する。これらの大きな加速度はエンジン点火時に推力のピーク

があるためと考えられる。このように燃焼の初期に大きな推力がでることは、ランチャー離脱速度を早めて、飛しょう性能は安定するが、機体内の諸計器に異状な力を与え、故障を起す心配がある。

6. むすび

ランチャー離脱付近の状況を Fastax, Bell 撮影機等で撮影することにより、その飛しょう特性を明確に知ることができた。ベビー・ロケット実験の際は、ランチャーの構造上、発射瞬間におけるランチャー内の運動状況をはっきり知ることができなかったが、カッパ128 J-S型ロケット実験では、ロケットは I 字型ランチャー上に乗っているため、発進の当初から完全にその運動を撮影することができ、非常に有利であった。これらの画面を解析することにより、実測値は設計計算値よりも非常に大きいことがわかった。

事故を起した 2 号機は 35 mm Bell & Howell 撮影機で全航跡を完全に撮影することができ、カメラの正確な時間目盛により、翼が飛散し、機体が分解を起すまでの過程を詳細に知ることができた。このように高速度カメラ群による撮影解析はロケットが異状なく飛しょうする場合は、毎回同じような測定結果をうるにすぎず、各号機を全部撮影することは無駄のように感じられるが、もし事故を起した場合には非常に貴重な客観的資料を提供する唯一の手段といっても過言ではなく、ロケットの試作段階においては欠くべからざる測定方式である。

(1957. 2. 15)

次号予告 (4月号)

(観測ロケット特集号・カッパ 128 J-T, TR)

巻頭言……………谷 安正  
特集

- カッパ 128 J-T, TR の実験……………高木 昇
- カッパ (K 128 J) ロケットアンテナ……………黒川兼行・永友英世・山下不二雄・瓜本信二
- カッパ・ロケットのテレメータ装置……………野村 民也
- IIS-TM II 型テレメータ送信機……………倉茂 周芳
- IIS-TM III 型テレメータ送信機……………大井 克彦・佐伯 昭雄
- IIS-TM III 型送信機電源用電池……………大井克彦・麻生 進・佐伯昭雄・松野四郎・住本捨夫
- テレメータ受信用アンテナ……………黒川兼行・須田徳蔵
- 自動追跡レーダ装置……………野村民也・倉茂周芳
- テレメータ実験記録および結果の考察……………テレメータ研究班
- 自動追跡レーダ装置実験記録およびその考察……………自動追跡レーダ研究班
- 計測器および計測結果の考察……………ロケット用加速度計について……………吉山巖・中村巖
- カッパ 128 J-TR における横方向加速度の

- 測定について……………池田健・富田文治
- ロケット塔載用抵抗線歪計……………森大吉郎・荘司敦
- 白金温度計……………野村民也・山本尙志
- ヒューズ温度計について……………糸川英夫・吉山巖・井上俊夫
- K-128 J型ロケット用マツハ計、高度計について……………山口隆男・二宮香二郎・日沖松美
- 128J-T, TR 飛しょう実験における通信連絡……………丹羽登・高中泓澄・市川初男
- 高速度カメラによるカッパ T ロケットの飛しょう特性の解析—高速飛しょう体の光学的追跡に関する研究第11報—……………植村恒義・伊藤寛況・戸田健次・中西公弘・竹林勇・西村明夫・伊藤房江
- 光学的追跡装置によるカッパ T ロケット飛しょう特性の解析—高速飛しょう体の光学的追跡に関する研究第12報—……………植村恒義・山本孝孝・近江久行・山谷健三郎・内藤茂
- ロケット用光学的追跡装置の時間的同期について—高速飛しょう体の光学的追跡に関する研究第13報—……………植村恒義・山谷健三郎
- 128J-T, 128J-TR 実験全般記録……………丹羽登・高中泓澄
- 簡易時分割テレメータ送信機 (II)……………猪瀬博・永友英世
- 時分割テレメータ受信記録装置……………猪瀬博・永友英世