

高速度カメラによるカッパ 128J-TR ロケットの飛しょう特性の解析

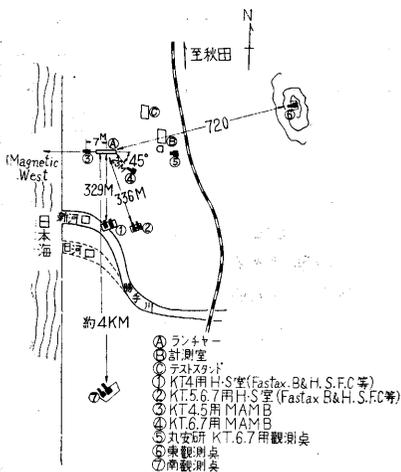
— 高速飛しょう体の光学的追跡に関する研究 第11報 —

植村 恒義・伊藤 寛治・戸田 健次
中西 公弘・竹林 勇・西村 明夫・伊藤 房江

1. はしがき

昭和 31 年 12 月 3 日より秋田県道川においてカッパ TR 型の飛しょう実験が行われた。

このカッパ TR 型は 31 年 9 月に実験された S 型にかわって、その機体内にテレメータ送信機を積み込み、さらに地上から国産初のレーダによってロケットの追跡を行った。実験が 12 月に行われたため裏日本である秋田地方は天候が非常に悪く、ほとんど晴間がなく、時たま青空がのぞく程度でほとんど一面雲におおわれていた。そのため写真撮影には大変不利で、露出不足にならぬよう絞りを一段以上開ける必要からレンズの鮮映度や深度もわるく、最良の結果を得ることができなかった。



第 1 図

地理的にも高速度室と称したランチャー南方 280 m の小屋も、付近を流れる勝手川が 12 月に入って急に蛇行して北方に移動し、小屋が危険になり移動した。

2. カッパ TR 型について

カッパ TR 型の基本は前回飛しょう実験を行ったカッパ 128 J-S 型と同じである。その諸元は次の通りである。

カッパ 128 J-T 型ロケットの諸元

全長	約 2.2 m
重量	約 45 kg
高度	8,000 m (発射角 90°)
"	5,300 m (" 60°)

水平距離 8,000 m (発射角 45°)

最大速度 900 m/sec

飛しょう時間 72 秒

カッパ 128 J-T 型には次の特長がある。

(1) S 型および T-4 号機に比べ 5, 6, 7 号機においては翼型に変化がみられ、今までの金属によるものに替えて、木を金属でサンドウィッチにしたもので後退翼となり、レーダ用のノッチアンテナがついている。

ランチャーは S 型のものを使用し、6 号機のみはロケットのランチャー滑走距離を 1 m に短くして実験した。

(2) カッパ 128 J-T 型と名の示すように今回はテレメータが使用され、ロケット機体内に加速度、温度、圧力、翼歪等の測定器を積みテレメータ送信機により地上に送り、地上でこれを受信し記録することが行われた。テレメータは二種類使用され、1955 年 9 月 Baby-T 型に使用された小型のものおよび今回から使用された遠距離用とが使用された。

(3) カッパ 128 J 5 号機からは特にロケット飛しょう追跡レーダが使用された。このレーダは地上からの信号によりロケット機体内のトランスポンダにて折り返し送信され、これを地上のパラボラアンテナで受信し自動追跡を行うレーダである。

(4) ロケットの塗装は肉眼に感度が高く、また写真的にも良い結果の出た螢光赤色と白色を使用して塗装を行った。

3. 使用した装置

(1) ランチャー下 Mitchell 固定撮影機 (2 台 1 組) シネセオドライト用のカメラ部分を取りはずし 2 台 1 組とし、ランチャー直下にセットした。1 台は 50 mm レンズを併用し、ロケットが比較的近い間の撮影を行い、ほかには 150 mm レンズを併用しロケットが遠く離れてから撮影されるようにした。またロケットが発射方向より多少ずれても、広角である 50 mm レンズ使用の撮影機でカバーできるようにした。撮影フィルムの端にはネオン管により追跡用の Mitchell と同一のタイムマークを入れ、撮影機群に同期が取れるようにした。この 2 台の撮影機の運転はリレーにより遠隔操作されるようになっている。4, 5 号機の時は何事なかったが、6 号機発射の直前、波がランチャー直下まで来たので、撮影機が波をかぶり故障するのを防ぐためランチャー 45° 後方に移動し、

(2) 追跡用 Mitchell 撮影機 (1) および Parvo 撮影機

シネセオドライト用 Mitchell 撮影機のカメラ部分を利用し、800 mm 超望遠レンズを併用したものと、一般撮影用 35 mm Parvo 撮影機に 250 mm レンズをつけたものを、同一架台に取り付け追跡撮影を行った (図面グラフィア参照)。

Mitchell カメラに使用した 800 mm レンズでは視野が狭く、後の解析の際時間軸となる時計が入らないので、ネオン管によるタイムマークが図面のはじに入るようにして時間軸とした。

(3) 固定カメラ

a) Fastax 高速度カメラ

ランチャー南方 282.4 m の地点にセットして使用した。撮影レンズは 4, 5 号機は 101 mm を使用し、視野は 7°18', 6, 7 号機は 250 mm で 3° の視野である。フィルムは E・K Tri-X を用い撮影速度 1,000 駒/秒で使用した。

b) B & H 35 mm カメラ

Fastax と同一地点にセットして使用した。撮影レンズは 4, 5 号機は 250 mm, 視野 3°30', 6 号機は 100 mm で視野 8°30' のものを使用した。

c) Devry 35 mm カメラ

上記 Fastax, B & H カメラと同地点にセットし、特に短焦点レンズ 35 mm を付加し、ロケットがやっとフィルム上にみとめられるくらいの大きさになるようにした。そのため精度は Fastax や、B & H カメラにはるかにおとるが、37°34' という広い視野を撮影することができる。

これら三種のカメラは固定のまま使用した。カメラは水平にセットせず斜めにセットし画面の対角線をロケットが横切るようにし、できるだけ画角の広い部分を使用するようにした。

(4) その他の撮影機

上記のカメラのほか一般撮影用 Cine Kodak Special II 型撮影機, Sector Frame Camera (追って報告予定)、回転シャッター式 1 枚撮りカメラなどを使用した。

4. 解析結果

35 mm Bell & Howell 撮影機が 4, 5, 6 号機の撮影に成功し、16 mm Fastax 高速度撮影機で 4, 5, 7 号機、35 mm Devry 撮影機は 4, 5 号機の撮影に成功した。その結果を解析し変位—時間特性を得、これを図式微分することにより速度—時間特性—加速度—時間特性を得た。また変位—時間特性と速度—時間特性から速度—変位特性を得ることができた。

この結果は計算値 (I) と比較されたが、計算値 (I) は、ロケットの大略の軌跡を知るために推力一定として計算を行っているので、ランチャー離脱付近の特性は誤差が大きい。そのため特にランチャー離脱付近の特性が

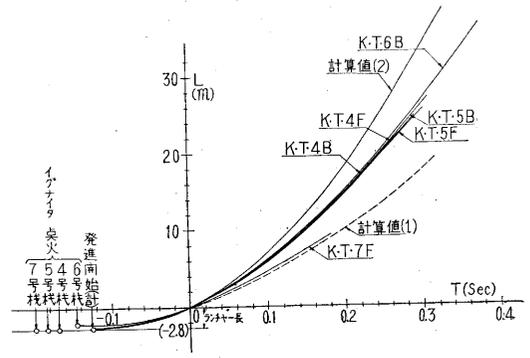
実際の飛しょうに近くなるよう、推力を地上試験から得られた値として計算を行い、計算値 (II) とし観測結果と比較を行った。

ランチャー下 Mitchell 固定撮影機では 4, 5 号機の撮影に成功しロケットの回転およびロケットの飛しょう方向がわかった。また 7 号機では、東、南観測点追跡撮影が成功したので、高速度撮影機による撮影結果と比較することができた。

(1) 変位—時間特性

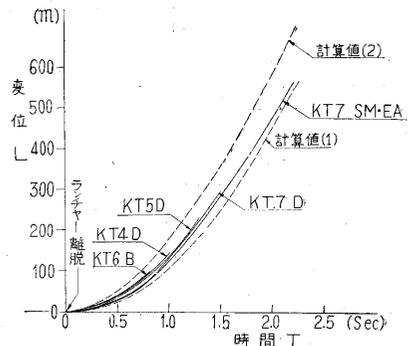
Fastax 撮影機の撮影結果および B & H 撮影機の撮影結果からの特性は第 2 図に示す。図中イグナイト点火とあるのは、ロケット点火薬に電流を通ずるスイッチと並列に写真用フラッシュ電球を付け、スイッチインによりフラッシュ電球の発光が画面に撮影されるようになってい

Fastax の撮影範囲では問題はないが、B & H 撮影機の解析結果中、6 号機は撮影範囲が広く、ロケットが発射後北偏して飛しょうを行っているのものでそのための補正



F 16 mm Fastax 高速度カメラ
B 35 mm B & H 撮影機
K T カップT型の略
4, 5, 6, 7 ... 発射番号

第 2 図 カップT ロケット変位(L)—時間(T)曲線
ロケットの後端がランチャーを離脱した瞬間を原点とする。



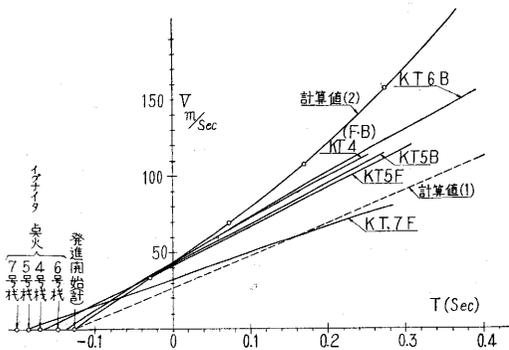
D 34 mm Devry 撮影機
B " " B & H "
SM, EA ... 観測点
K T カップT型の略
4, 5, 6, 7 ... 発射番号

第 3 図 カップT ロケット変位(L)—時間(T)曲線

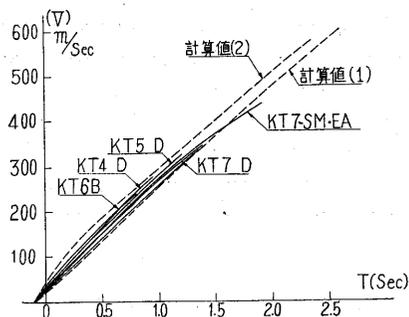
第1表 カップTロケットの Camera Data

		K T 4 号機		K T 5	K T 6	K T 7
(1) 16mm Fastax 高速度カメラ	レンズ 絞り Filter カメラ電圧 同期 撮影速度 1駒の露出時間 画面 Film種類	101mm F: 3.5 F: 3.5 開放 なし 55V 手動(発射1秒前) 1,000 駒/秒 1/4,000 秒 ランチャー付近 Tri-X ASA 200	K 4と同じ K 4と同じ なし 60V K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ High Speed Infrared, ASA80	ニッコール 250mm F: 4 F: 4 開放 なし 60V K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ High Speed Infrared, ASA80	テッサー 100mm F: 2.7 K 5と同じ Wratten K2 K 4と同じ 14 駒/秒 3/130 秒 K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ	K 6と同じ K 6と同じ なし 65V K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ
(2) 35mm B & H 撮影機	レンズ 絞り Filter 同期 撮影速度 1駒の露出時間 播下 モーター 画面 Film種類	ニッコール 250mm F: 4 F: 5.6 なし 手動(発射10秒前) 29 駒/秒 40°=1/270 秒 高速度用 High Speed Motor ランチャー付近 Fuji Nega ASA 80	ニッコール 180mm F: 2.5 F: 6.3 なし K 4と同じ 8 駒/1秒 1/70 秒 K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ	テッサー 100mm F: 2.7 K 5と同じ Wratten K2 K 4と同じ 14 駒/秒 3/130 秒 K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ	使 用 せ ず	
(3) 35mm Devry 撮影機	レンズ 絞り Filter 同期 撮影速度 1駒の露出時間 タイムマーク モーター 画面 Film種類	ズイコー 35mm F: 3.5 F: 3.5 開放 なし 手動(発射10秒前) 7 駒/秒 18°=1/140 秒 電接時計1秒毎 100V×2 マイクロモーター ランチャー付近 Fuji-Nega ASA 80	K 4と同じ F: 6.3 なし K 4と同じ 6 駒/秒 1/120秒 K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ	使 用 せ ず		K 4と同じ K 5と同じ なし K 4と同じ K 5と同じ K 5と同じ K 4と同じ K 4と同じ K 4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 1/50 秒 ランチャーより上空 Kodachrom ASA 16	使 用 せ ず	K 4と同じ K 4と同じ なし K 4と同じ 1/2 1/100秒 K 4と同じ K 4と同じ		K 4と同じ K 4と同じ Wratten K2 64 駒/秒 open 1/130秒 K 4と同じ Fuji-Nega ASA80
(5) 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	エクター 63mm F: 2 F: 11 なし 24 駒/秒 1/50 秒 ランチャーより上空 Fuji Nega ASA 80	エクター 40mm F: 1.6 F: 1.6 開放 なし K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ	K 4と同じ F: 8 Wratten K2 64 駒/秒 1/130 秒 K 4と同じ K 4と同じ		K 4と同じ F: 8 なし K 6と同じ K 6と同じ K 4と同じ K 4と同じ
(6) 35mm Parvo 撮影機	レンズ 絞り Filter 撮影速度 1駒の露出時間 モーター 画面 Film種類	ニッコール 180mm F: 2.5 F: 9 なし 24 駒/秒 20°=1/430 秒 Synchronous Motor ランチャーより上空 Fuji Nega ASA 80	ニッコール 250mm F: 4 K 4と同じ なし K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ	K 4と同じ F: 8 Wratten K2 K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ		K 4と同じ K 6と同じ K 6と同じ K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ
(7) 35mm Mitchell Camera (A), (B)	レンズ 絞り Filter 同期 撮影速度 1駒の露出時間 タイムマーク 画面 Film種類	Fastax 用レンズ (A) 50mm F: 2, (B) 150mm F: 4.5 F: 5.6 Wratten K2 リレー 20 駒/秒 18°=1/400 秒 電接時計 1秒毎 100V×2 ランチャー前方7mの地点に設置、ロケットの飛 しょう状況を後から撮影 Fuji Nega ASA 80	K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ	K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ 25 駒/秒 1/500 秒 K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ		K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ K 6と同じ K 6と同じ K 4と同じ K 4と同じ
(8) 35mm Mitchell Camera (C)	レンズ 絞り Filter 撮影速度 1駒の露出時間 タイムマーク 画面 Film種類	キヤノン 800mm F: 8 F: 8 開放 なし 20 駒/秒 18°=1/400 秒 電接時計 1秒毎 100V×2 ランチャーより上空 Fuji Nega ASA 80	K 4と同じ K 4と同じ 橙 K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ	K 4と同じ K 4と同じ K 5と同じ K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ		K 4と同じ K 4と同じ K 5と同じ K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ K 4と同じ

が加えてある。Devry 撮影結果の解析は第 3 図に示す。広角 35 mm レンズを使用したため、ランチャーより 200 m にわたって撮影を行うことができた。測定精度は B & H や Fastax 撮影結果に比べ低いが、ロケット飛しょう特性を調べるには十分である。Devry 解析結果は撮影視野が広いので東、南観測点観測結果と比較を行った。これら図中の記号は最初の KT はカップ T ロケットの略で次の数字はカップ型ロケット (S 型も含む) の通算飛しょう実験番号、最後の F. B. D. 等は Fastax, B & H Devry 撮影結果によることを表わしている。図中ロケットのスタートを時刻基準とせず、ランチャー離脱瞬間をもってこれにあてたのは、ロケットのスタートではきわめて不確実なためである。



第 4 図 カップ T ロケット速度 (V) — 時間 (T) 曲線
ロケットの後端がランチャーを離脱した瞬間を原点とする



第 5 図 カップ T ロケット速度 (V) — 時間 (T) 曲線
(2) 速度—時間特性

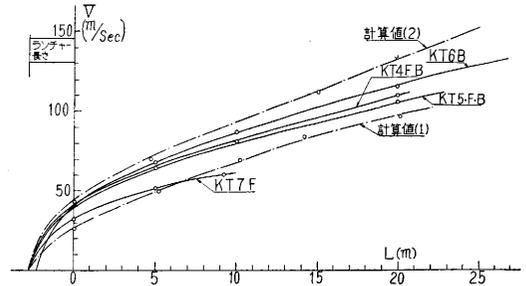
第 2 図と第 3 図の変位—時間特性を関式微分して求めたものである。6 号機は最初から速く、4、5 号機は特性が良く似ている。7 号機は 4、5、6 号機に比べ一段と速度が低く注目される。

(3) 速度—変位特性

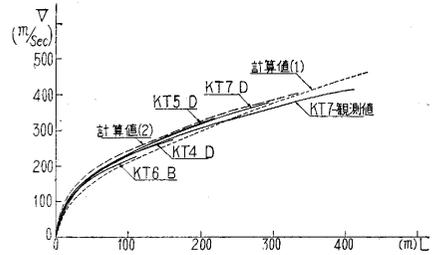
変位—時間特性と速度—時間特性から作られたもので横軸はランチャー基点からの直距離で表わしてある。ランチャー離脱の速度は 4 号機、6 号機共 40 m/秒 程度で 6 号機は 44 m/秒、7 号機は特に低く 28 m/秒 程度である。

(4) 加速度—時間特性

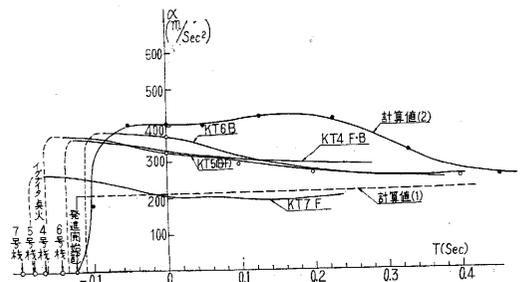
第 7 図の速度—時間特性をさらに関式微分して求めたもので、精度は前記変位—時間、速度—時間特性にくらべ劣っている。やはり 7 号機のみ低く、4、5、6 号機



第 6 図 カップ T ロケット速度 (V) — 変位 (L) 曲線



第 7 図 カップ T ロケット速度 (V) — 時間 (T) 曲線



第 8 図 カップ T ロケット加速度 (α) — 時間 (T) 曲線
ロケットの後端がランチャーを離脱した瞬間を原点とする

が 0.3 秒までの平均加速度が 300 m/sec² なのに対し、7 号機のみは 200 m/sec² であるのが注目される。この値に関して、7 号機の上昇中のエンジン燃焼を撮影結果からの火焰で見ても、火焰の噴射は見られず黒煙を噴射している。これからも 7 号機のみはスタート直後異常な燃焼を行っていたものと考えられる。

(5) ランチャー下撮影機による解析

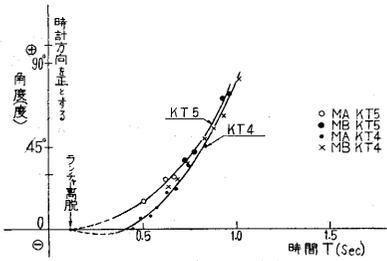
a) ロケットの回転

ランチャー下撮影機の撮影結果でロケットの翼が見えている。この翼からロケットの回転を調べたのが第 9 図である。回転は後方より見て時計方向回転を ⊕ とした。

撮影機は 2 台使用したので短焦点レンズ使用のカメラを MA 撮影機と称し、長焦点レンズ使用の撮影機を MB と称した。MA による結果と MB による結果は、当然のことながら良く一致しているの、二つの結果は一緒にまとめて示してある。

4 号機が視野に入ってきたのは発射後 0.4 秒たってからで、その時翼はわずかに反時計方向をむいていたが、回転方向に発射後 1 秒で約 80 度回転を行っている。

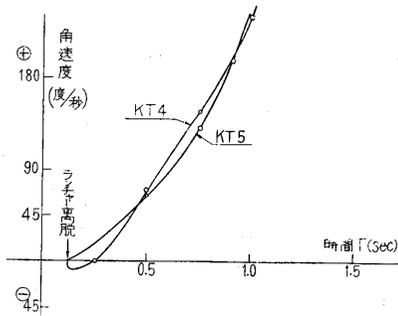
なお 4 号機がスタートから回転方向が時計方向であ



第9図 カップTロケット回転角度—時間曲線

り、90度回転を行った後視野に入ったものと考えると、回転速度があまりにも大きくなり不自然であるので、スタート直後はランチャー離脱の際のショックにより、わずかに時計方向へ回転したものとして推定した。

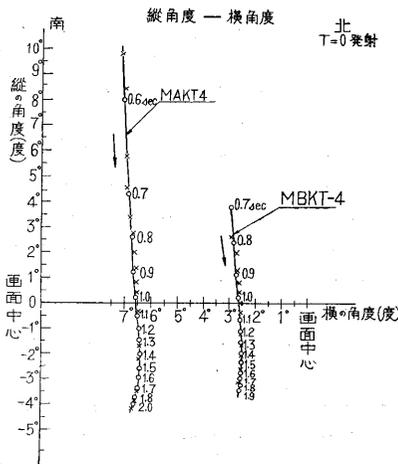
5号機が視野に入ったのは発射0.5秒後で、すでに時計方向に15度回転しており、その後の回転方向は4号機と同じく時計方向である。4、5号機の回転を速度で表わしたのが第10図で、速度は角速度で表わしてある。



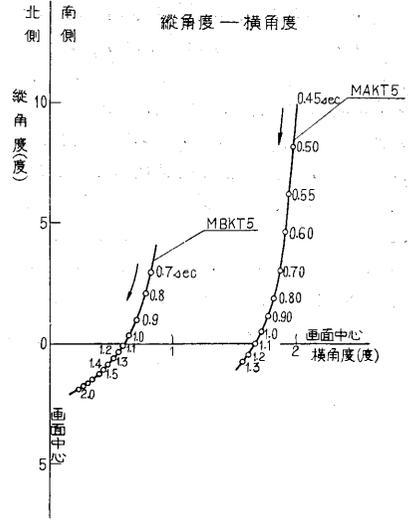
第10図 カップTロケット回転角速度—時間曲線

b) ロケットの飛しょう方向

ランチャー下撮影機の最初の目的であるロケットの飛しょう方向の測定は、撮影機セットの際の測量が不完全であったため正確な方向を知ることはできなかったが、測定結果を第11図と第12図に示す。撮影機が正確に水平であったと仮定すれば、ロケットはスタート直後約1.5秒までわずかに北偏し、後急速に南偏して飛しょう



第11図



第12図

を行ったことになる。ロケットがスタート直後から撮影機の視野に入るまでランチャー方向に正確に飛しょうを行ったものと仮定すれば、ロケットは1.5秒後南偏したことになる。5号機はスタートから南偏して飛しょうを行ったか、あるいはスタート後0.7秒たってから南偏して飛しょうを行ったものと考えられる。以上の結果は4、5号機共上下(MA・MB)撮影機で同じ結果となった。

5. 考察

今まで数回にわたって飛しょう実験の撮影を行った結果、固定の高速カメラでは1,000駒/秒程度の撮影速度があれば、相当詳細なランチャー付近における特性を知ることができるという結論を得た。

(1) 今回初めて使用したランチャー下のカメラは、測量を正確に行ってセットすれば、ロケットの飛しょう方向、エンジンの燃焼時間、ロケットの回転等が良くわかる。また観測点のデータと組み合わせ飛しょう軌跡を知ることできる。

(2) ロケットの塗装は今回の実験で初めて蛍光赤色を使用した。天候不良で完全な結論を下すことはできないが、曇天で空とのコントラストが少い割には良く撮影された。また光学的追跡には白黒配色によるものに比べ一段と見やすいように感じた。

(3) 今回のカップT型には、観測を容易にするため赤色発光剤を使用した。ロケットエンジン燃焼中は火焰からの光が強いため発光はほとんど目立たなかった。晴天で3秒後エンジン燃焼が停止した後であったなら、きわめて効果が出たと思う。

(4) ランチャー直下の撮影機は4、5号機で撮影成功したが、観測結果が完全でないため、南側へ偏して飛しょうしたことを観測結果と合わせることができなかった。また6、7号機の飛しょう軌跡が観測点により観測されたが、ランチャー直下の撮影機は、海が荒れて波をかぶる危険のため移動し撮影できなかったのは残念であった。(1957. 3. 27)