

M-4S-1, 2, 3, 4号機の光学的 追跡について

——高速飛しょう体の光学的追跡に関する研究第46報——

植村恒義^{*}・山本芳孝^{*}・喜久里豊
栄楽正光・水沼俊夫・津野隆夫^{*}

1. まえがき

科学衛星の打上げを主たる目的として計画されたM-4S型ロケットは昭和45年9月25日に1号機が打上げられ、それ以後、46年2月16日に2号機が、46年9月20日には3号機が、そして47年8月19日には4号機が打上げられた。1号機での最終段のつまづきを除き、他の3機は、いづれも衛星として地球を回る軌道にのせることに成功している。M-4S型ロケットは最大径1.4m、全長24mの全段固体燃料推進のエンジンを持った4段式ロケットで、最終段は人工衛星を地球を回る軌道に打出させる。ロケットおよび最終段の衛星追跡はレーダによって行い、またテレメータ送受信装置により、地上からの指令、ロケットからの観測結果の伝達等が行われる。光学観測は各種の装置により地上から行い、ロケットの発射瞬間、および発射直後の特性を精密に測定するとともに、飛しょう中のロケットの状況、および飛しょう軌跡の測定等も行っている。光学的な方法によるロケット追跡はロケット本体と全く切離された装置で行われるため客観性の高い観測が行い得る特長があり、不測の事態が発生した際、原因究明に役立つ、その反面、光学追跡は飛しょう中のロケット本体からの光、すなわち、ノズルからのフレーム、および大陽光の反射光しか利用出来ないため、追跡能力は大きく天候に依存することになる。今回報告するM-4S-1～4号機についても、号機ごとに天候が変り、従って追跡結果も大幅に変化した。我々光学観測班はロケットの発射瞬間のくわしい運動特性の測定を目的として、数台の高速度カメラを使用し、また飛しょう中のロケットの状況観察、飛しょう軌跡の算出、予定軌道との差の測定、号機相互の特性比較等を目的として、数か所に配置した観測点からの追跡撮影記録も行った。この他、発射瞬間の整備搭附近への火炎の影響、補助ブースタの分離状況、落下特性、などを測定するための追跡撮影、その他、打ち上げ実験の予備試験としての地上での各種基礎実験等を行ってきた、今回はM-4S-1, 2, 3, 4号機の打上げ実験結果のみ、まとめて報告する。

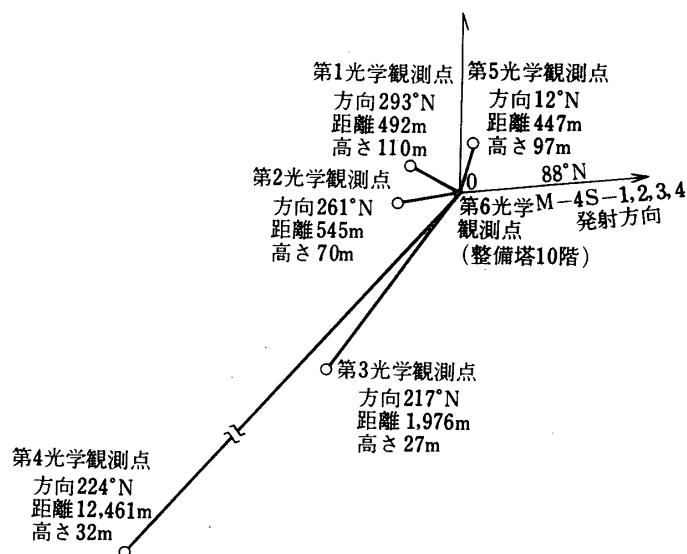
2. 光学観測に使用した観測点、観測機器および感光材料

2.1 光学観測点

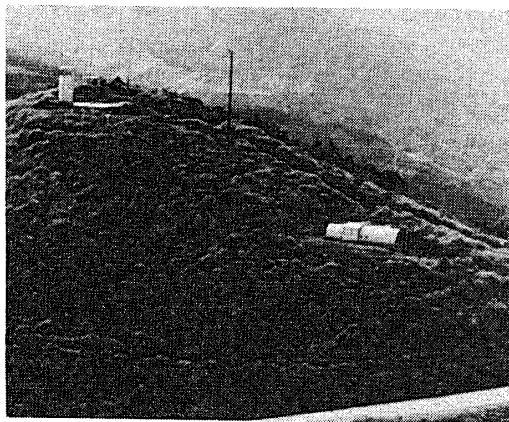
M-4S型ロケットのために発射点をかこんで、合計6か所の観測点が配置されている。第1図に示すとく最も近い観測点は整備搭上にあり、また最も離れた観測点は南方約12km

* 東大・工学部

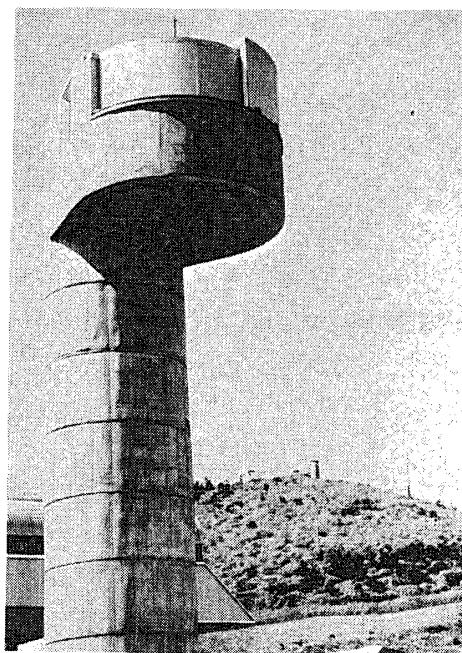
にある通称、第4光学観測点と呼んでいるところである。第1光学観測点、第3光学観測点、および第4光学観測点は、主として追跡撮影を行うことを目的とし、第2光学観測点、および第6光学観測点は主として高速度カメラ等を用いて発射附近の状況をくわしく撮影することを目的とし、さらに第5光学観測点からは、追跡撮影と固定撮影を同時にを行うことが多い。



第 1 図



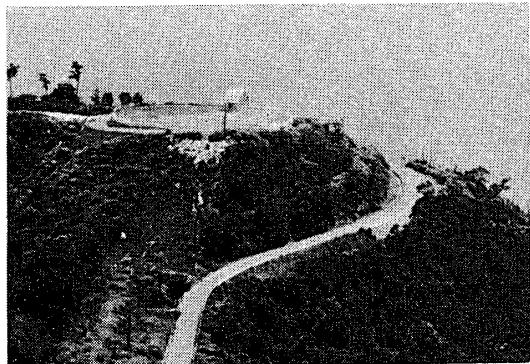
第 2 図 第 1 光学観測点



第 3 図 第 2 光学観測点



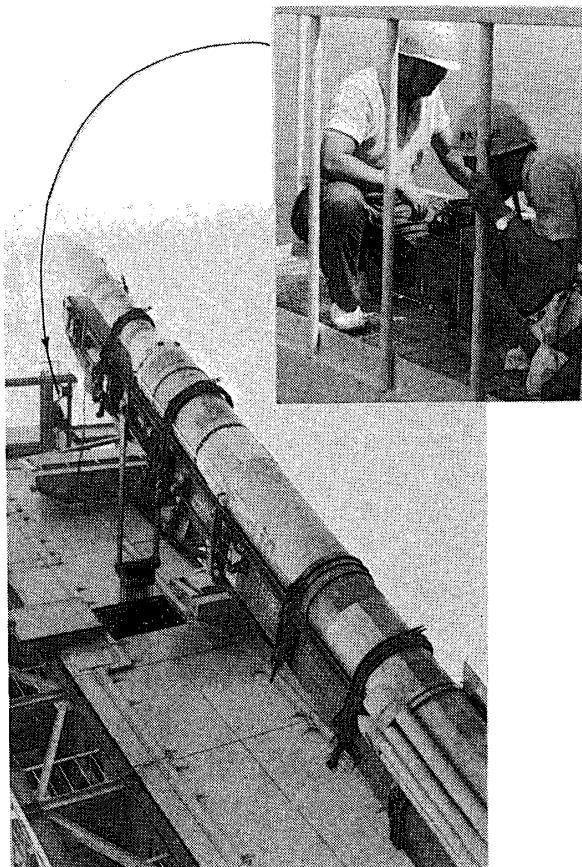
第4図 第4光学観測点



第5図 第5光学観測点

2.2 観測用機器

観測に使用した装置は大別して、追跡撮影装置と固定撮影装置とに分けられる。追跡撮影装置は、さらに手動追跡装置と自動追跡装置に分けられる。手動追跡装置は、倍率15倍の対空双眼鏡によりロケットの飛しょうを手動で追跡し、専用の撮影機でロケットの方向を上下角と水平角として、時刻と共に記録する。同時に追跡装置の上部にある長焦点レンズ付き記録用撮影機でロケットの飛しょう中の状況を撮影することが出来る。（第1光学観測点、CT-3装置、第3光学観測点、CT-1-A or CT-1-C、第4光学観測点CT-1-B、），また水平角、上下角記録とロケットの飛しょう中の状況を同一画面中に写し込む方式の装置も使用されている（第5光学観測点CT-4），さらに高速度撮影により飛しょう中のロケットの状況をくわしく観察することを目的とするつり下げ式の手動追跡装置もある（第2光学観測点、35mm映画撮影機、および16mmかき下し式高速度カメラ）。



第6図 第6光学観測点

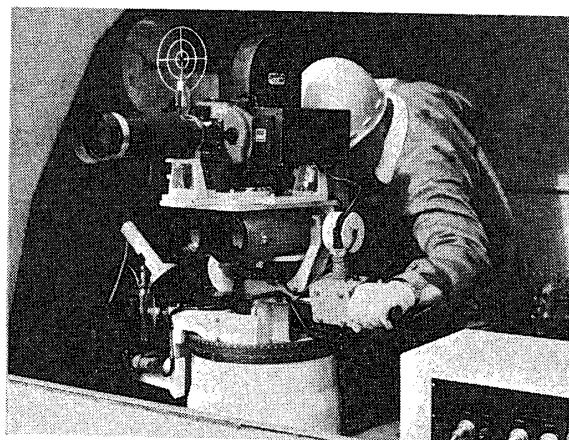
自動追跡装置は、赤外線テレビ装置を用いて位置制御を行って、ロケット追跡することが出来る。この装置は操作方法により下記の5種類の駆動が可能である。

- (1) 操作ダイアルによる手動追跡
- (2) テレビ画像を見ながら行う遠隔手動追跡
- (3) レーダ等外部追跡装置よりの信号で駆動する自動追跡
- (4) 予想軌道からの計算値による自動追跡
- (5) 赤外線テレビ装置による自動追跡

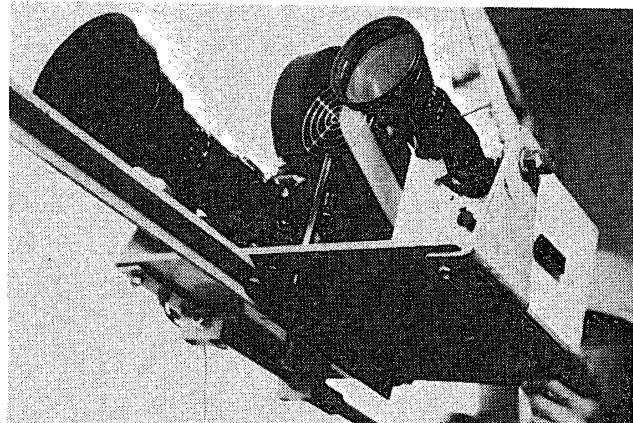
ロケットの方向はやはり専用撮影機により水平角、上下角を時間軸と共に記録する。自動追跡装置の上部には、ロケットの飛しょう状況を記録するために70mm撮影機、35mm撮影機、および16mm撮影機が取付けられ、さらにノズルから噴出する火炎中の赤外線を検知するための赤外線用ビジコンカメラを搭載し、ロケット追跡を行っている。(第3光学観測点C T - 2)。固定撮影装置としては16mmプリズム式高速度カメラ(第2

光学観測点、第5光学観測点、第6光学観測点)、35mmモータードライブ長尺カメラ(第5光学観測点)があり、いづれも、手動またはタイマーによるオートスイッチが可能である。これらのカメラはロケットの発進状況、火炎の状況等を撮影記録する。

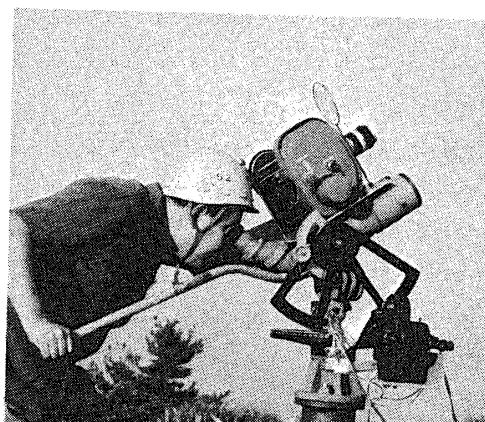
全ての撮影追跡装置は時間軸を必要とする。時間基準は2通りの方法が使用されている。第1の方法は、第1光学観測点、第2光学観測点、第3光学観測点にそれぞれ送られている。信号で、10m sec。100m sec。1secおきのパルス信



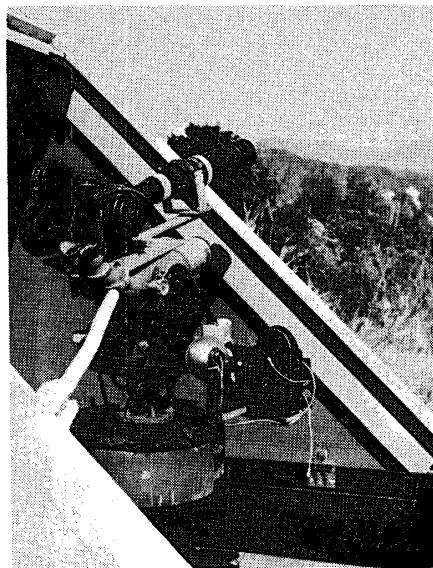
第7図 第1光学観測点で使用している手動追跡撮影装置



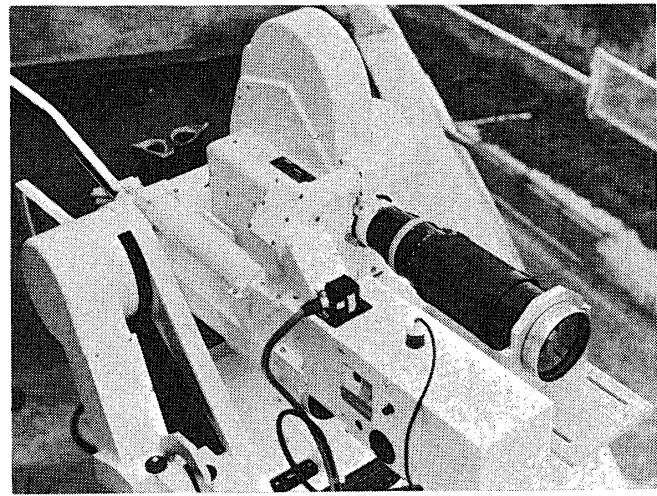
第8図 35mm映画撮影機と16mm間欠かき下し式撮影装置(第2光学観測点)



第9図 最も単純な型をした手動追跡撮影装置(第3光学観測点)



第10図 800mm望遠レンズを撮影レンズとした手動追跡装置（第4光学観測点）



第11図 目盛記録と追跡撮影画面を同一駒として組んだ手動追跡装置（第5光学観測点）



第12図 2000mm超望遠レンズ付自動追跡装置
CT-2（第3光学観測点）



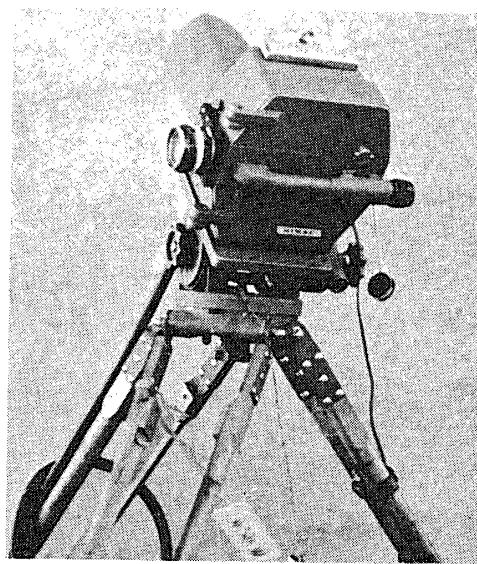
第13図 CT-2のリモート駆動部および赤外テレビ式自動追跡装置

号および、ロケット点火と同時に出てるパルス信号を用いる方法である。この信号は全て同位相で送られているので観測点相互の同期を取ることが可能であるが、上記3光学点しか利用出来ない。他の光学観測点では第2の方法として独立した時間軸を使用し、発射点近くに設置したロケット点火と同時に発光する写真用フラッシュを各観測点で駆動している撮影機間の同期信号としている。

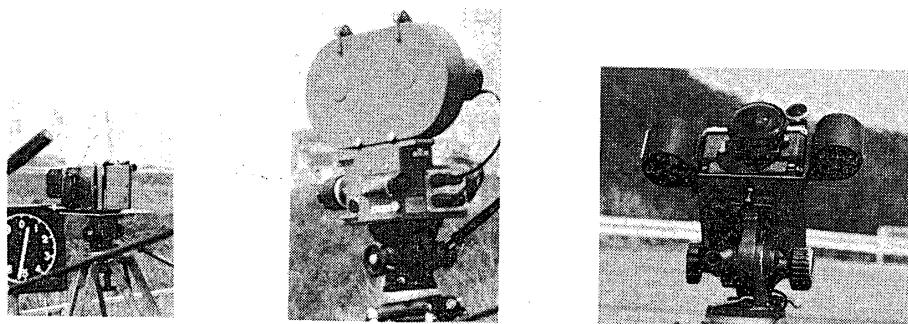
第16図にM-4S-4号機実験の際に用いた光学観測装置のデータ、一覧表を示す。他の号機についても大きな差異はない。

2.3 感光材料

飛しょう実験に使用する感光材料は、使用する装置によってフィルム寸法（フィルム幅や長さ）が決まり、また発射時刻や天候によ



第14図 16mm プリズム式高速度カメラ
(第2光学観測点)



第15図 第5光学観測室で使用した各種固定撮影装置

って、乳剤の種類（白黒、カラーの別、感度等）を変えて使用する。例えば第3光学観測点で使用するCT-2型追跡撮影装置では、ロケットの飛しょう状況を撮影する反射望遠レンズ付カメラは70mmフィルムを使用し、夜間発射となれば超高感度フィルムに変えて使用する。これと同時に使用している35mmモータードライブカメラには35mmフィルムが必要で通常、昼間の発射ではカラーネガフィルムが使用される。さらに上下角、水平角等を記録する目盛カメラは16mm白黒フィルム30m巻きが用いられる。一般に追跡撮影用フィルムはカラーフィルム使用が多く、そのため白黒フィルムより多くの情報が得られている。また追跡中のロケットが遠方にいった場合、白黒フィルムで像のコントラストが低下するときでもカラーフィルムによる色別が可能な場合がある。第16図によってM-4S型ロケット追跡で使用している感光材料の種類の多いことがわかる。

3. M-4S-1～4号機の飛しょう観測結果

ロケットの光学追跡は、その時の天候によって観測結果は大いに影響を受ける。特に追跡撮影によってロケットの軌跡を求める目的の装置は、ロケットの飛しょう方向の雲の有無が直接追跡結果を左右する。これに対し発射附近の特性を解析する高速度カメラ類は照明光源としての大陽光量が最も重要である。

3.1 M-4S-1号機

M-4S-1号機を打上げた1970年9月25日14時はあいにくの曇り空であったが、雲がやや薄くしかも高いため、光学追跡は最大110秒まで行うことが出来た。従って、発射後補助ロケットの燃焼終了、補助ロケットの切り離し、第1段ロケットの燃焼終了から切りはなし、第2段ロケットの点火までを確認することが出来たが第2段目燃焼中に残念ながら雲中で見えなくなった。一方、第2光学観測点、および第5光学観測点に配置した高速度カメラは、いづれも良好な撮影結果を得た。また整備搭上の2台の無人運転の高速度カメラは運転途中で電源が切れる事故にあったが撮影結果に影響せず、ロケット点火から火炎の拡がる状況、さらにゆっくりランチャを移動し、離れてゆく状況を記録することが出来た。

3.2 M-4S-2号機

M-4S-2号機は他のMロケット(M-4S-1, 3, 4)と異なり、寒い冬の真最中、すなわち1971年2月16日13時に打上げられた。この時は光学追跡に取って残念ながら、全くの曇り空であったため、5か所の追跡装置はいづれも15秒間の追跡にとどまってしまった。しかし整備搭に取付けた2台の高速度カメラ(今回からこのカメラは両者共、独立内蔵電源式としたので不時の停電でも駆動可能である)をはじめ、第2光学観測点および第5光学観測点の高速度カメラはいづれも良好な撮影結果を得ることが出来た。

3.3 M-4S-3号機

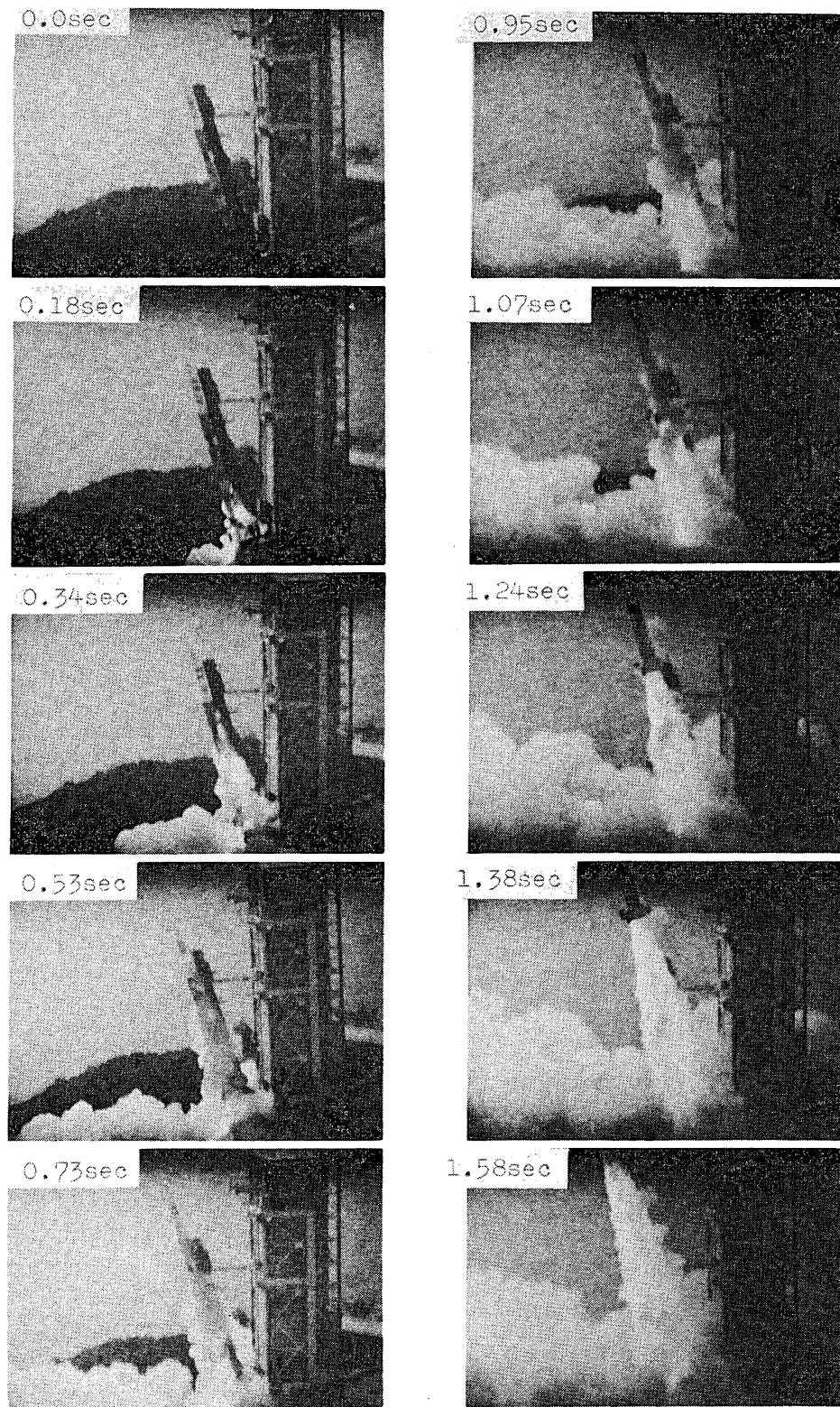
M-4S-3号機は1号機の打上げからおよそ1年後の1971年9月20日13時に打上げられた。発射時の天候は1号機打上げの時に近く薄曇りであったため追跡装置による最大確認時間は120秒であった。このロケットから第5光学観測点に新しい方式のCT-4型を配して追跡を行った。整備搭上の2台の高速度カメラ、第2、第5光学観測点の高速度カメラによって良好な撮影結果を得た。

3.4 M-4S-4号機

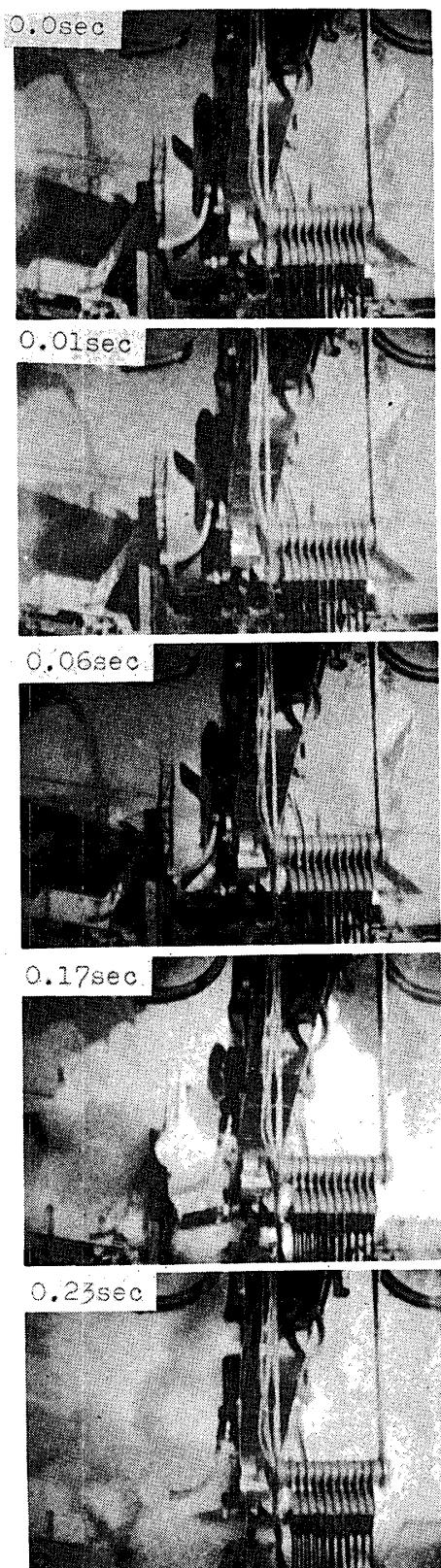
M-4S-4号機は3号機からほぼ1年の後、1号機から2年後の1972年8月19日11時40分に打ち上げられた。この日は、これまでのM型ロケット各号機の打上げ日に比べ、最も天候に恵まれ、光学的追跡に良い結果をもたらした。すなわち、追跡観測により発射後204秒間のロケット飛しょう状況を確認することが出来た。その結果、M-4S-4号機の補助ブースタの燃焼終了、切はなし、1段目ロケットの燃焼終了、切はなし、2段目の点火、終了から3段目の点火および3段目の燃焼終了近くまでを、はっきり確認することが出来た。この様に打上げ時の天候がよければ光学的な方法で、M-4S型ロケットでは、3段目燃焼中ならば、十分350km遠方でも確認することが出来ることを示している。またランチャ離脱附近のくわしい特性を解析する目的の高速度カメラ類も良好に作動し、良い撮影結果を得ることが出来た。

第16図 光学観測装置一覽表
 口ヶツト号機名 [M-4S-4] 発射年月日時 '72年8月19日11時40分
 発射点 M 使用ランチャ M 発射角 $\frac{1}{2} 76.5^\circ$ 水平 $88^\circ N$ 天候 快晴
 実験参加者名 植村, 山本, 喜久里, 栄楽, 水沼, 下井, 宇田川, 津野, 宮崎 計9名

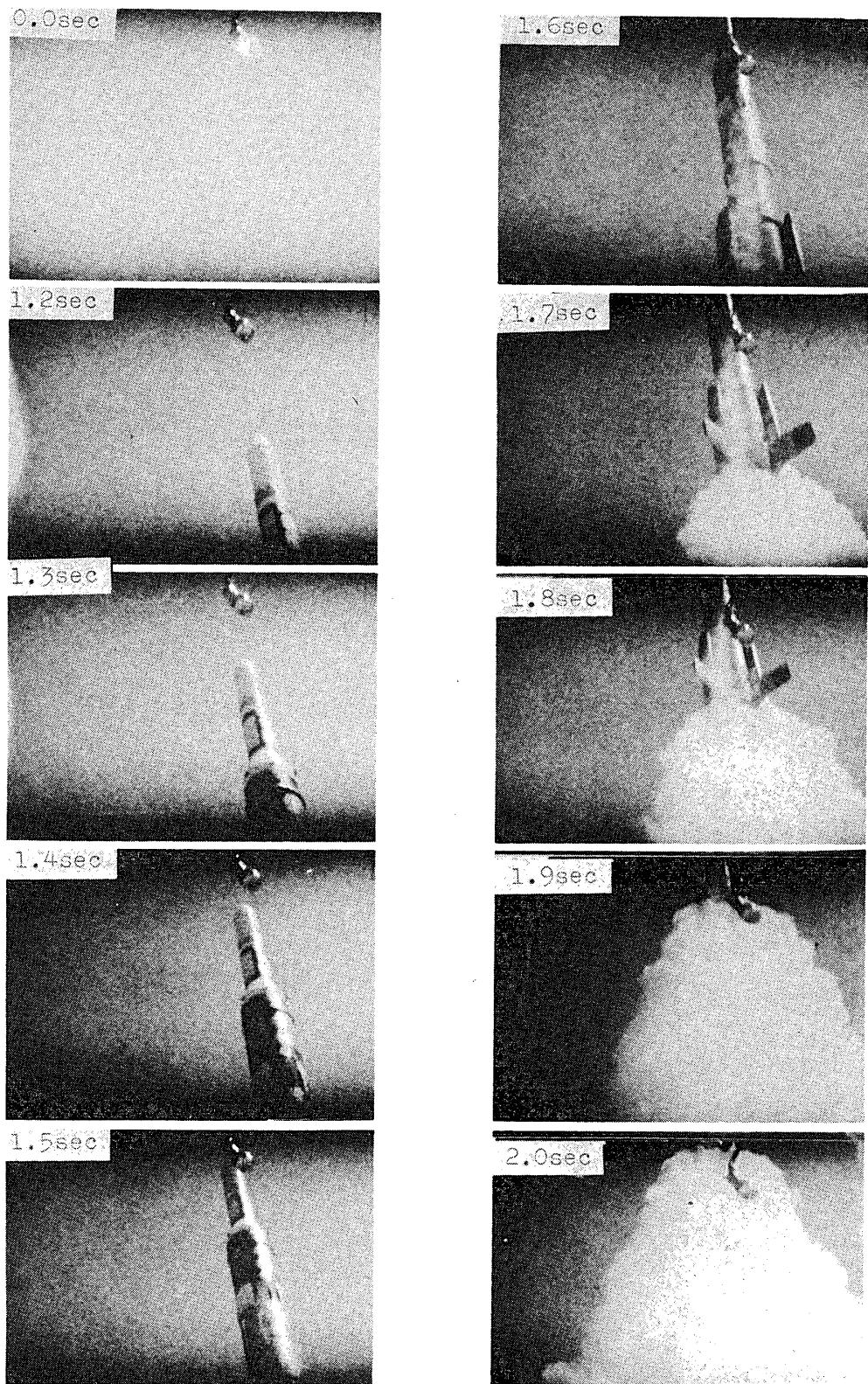
観測点	装置名	実験者	レンズ名	焦点距離	絞り	フィルター	フィルム名	感度 ASA	撮影速度 f/s	追跡時間	フィルム使用量	現像結果	備考	予定秒時		
														B ₁ b.o.	61 Sec	
1 №1	CT-3 カメマチック 35	植 村 宇田川	ニッコールZ 25 ~ 250 mm Fix	f:11 (なし)	Fuji Color 8515	100	20	B ₃ b.o.まで	Sec 300ft	良	B ₂ ON附近以外 追跡良			B ₂ b.o.	152 Sec	
2	目盛Bolex	"	シネニッコール 13mm	f:5.6 (")	Fuji RP	80	20	"	100ft	良						
3	Pen Recorder	"														
4 №2	アリフレックス 35	下 井 長坪(三)	アンジエニュ-Z 25 ~ 250 mm 100mm Fix	f:11	ラッテン № 85	EKColor 5254	100	24	B ₃ 途中	300ft	良	追跡良				
5	シネラマ 600	"	アンジエニュ-Z 15 ~ 150mm 150mm Fix	f: 8	"	7254	"	100	"	300ft	良	"				
6	16 HB (№ 136)	"	トプコール 58mm	f:5.6 (なし)	"	"	"	1,000	/	100ft	良	カメラ固定 (ランチングの H.S撮影)				
7 №3	CT-2 70%改造カメラ	栄 楽	キャノン 2000mm	f:11	富士 № 7	E.K プラスX	125	1	B ₃ b.o. まで	353	コマ 良	「ピント」 いい、追跡良	N.G.			
8	目盛Bolex	"	シネニッコール 25mm	f:5.6 (なし)	Fuji RP	80	20					フィルム巻取不良, N.G.				
9	赤外ITV	"	ニッコール 105mm	f:16	ラッテン № 88A				B ₃ b.o. まで							
10	追跡Bolex	"	シネニッコール 100mm	f:16 "	EKColor 7254	100	30	"	100ft	良	追跡良					



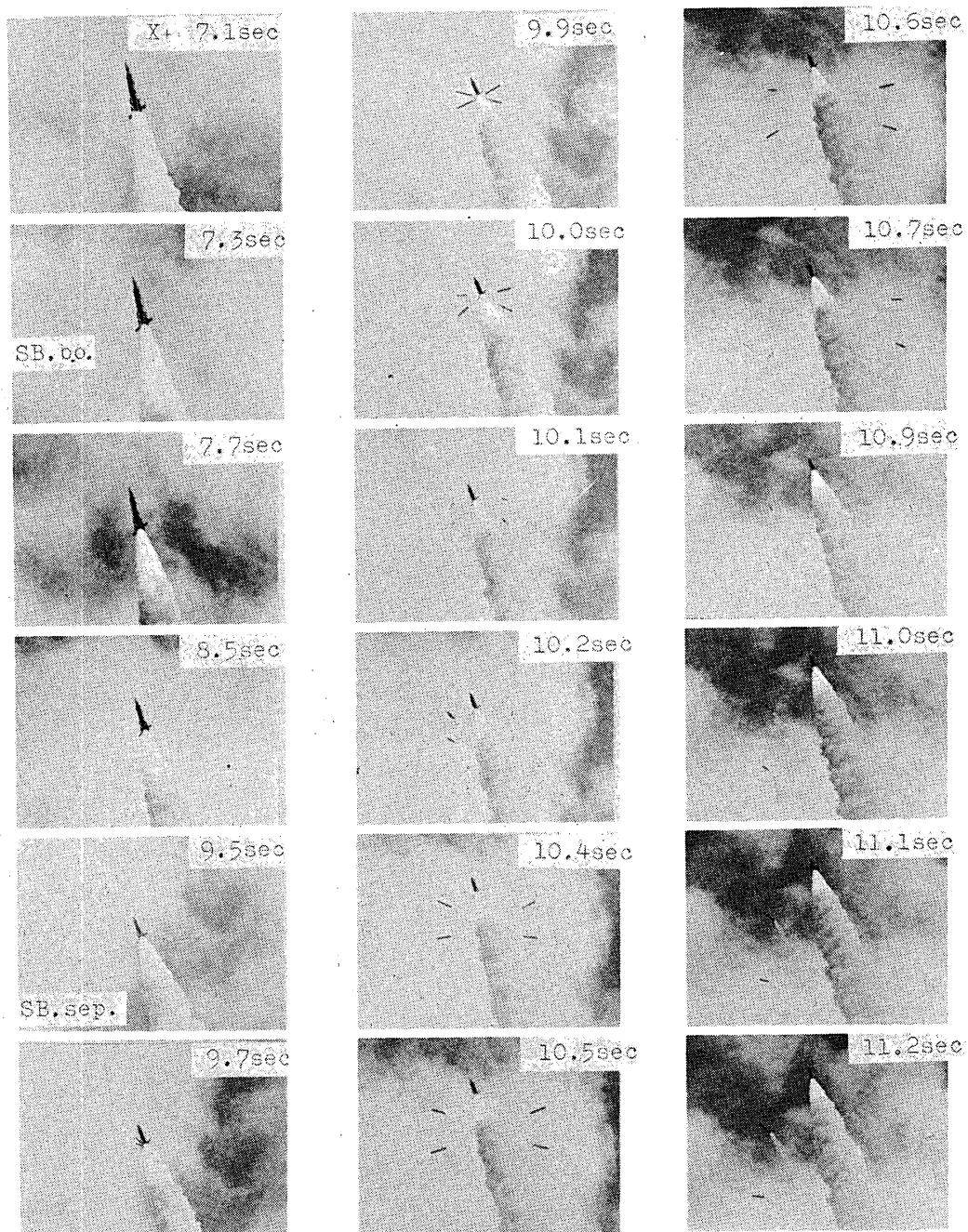
第17図 M-4S ランチャ離脱状況 (第5光学より)



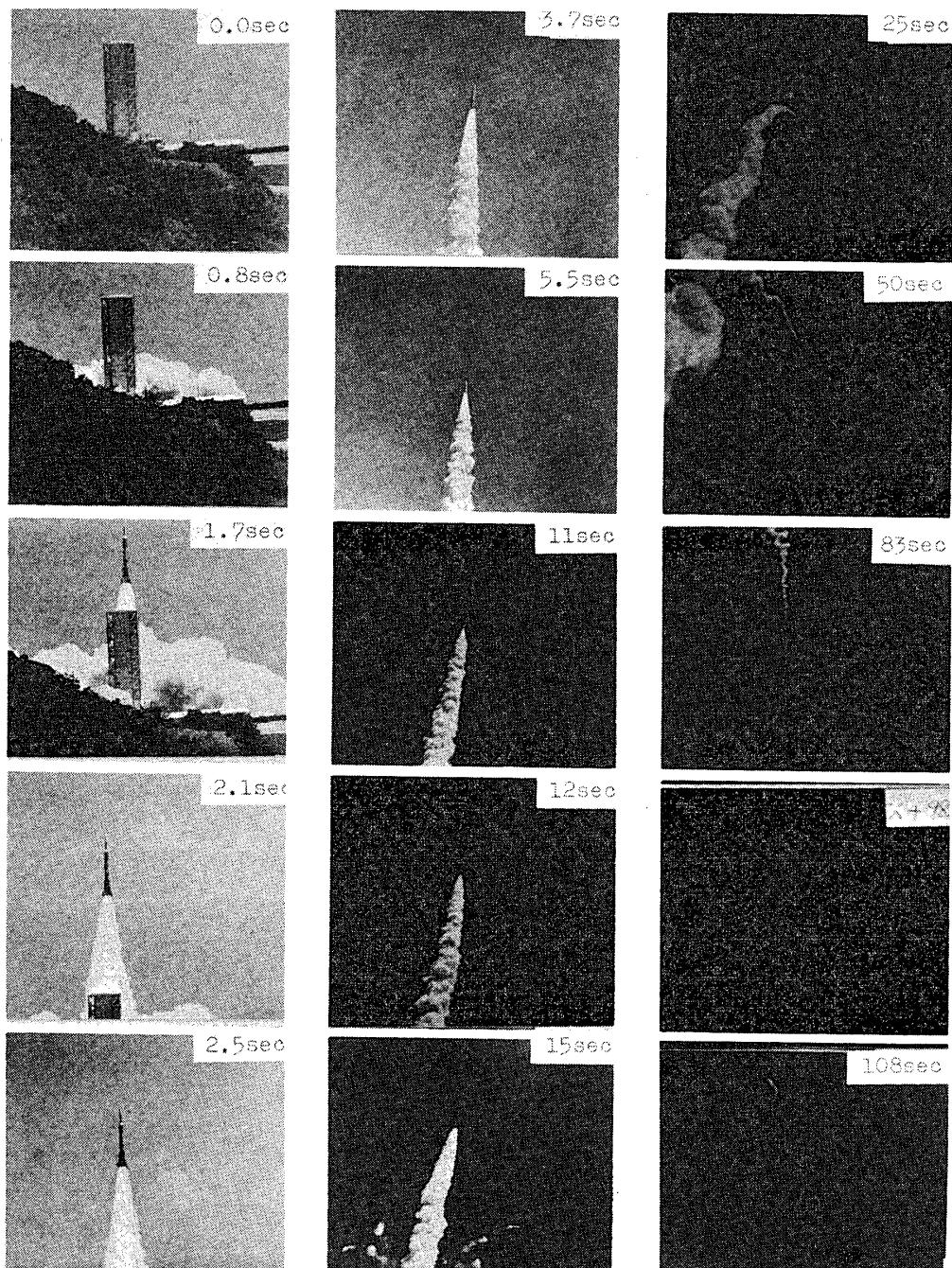
第18図 M-4 S-4発射瞬間の火炎の噴射（整備搭上高速度カメラ）



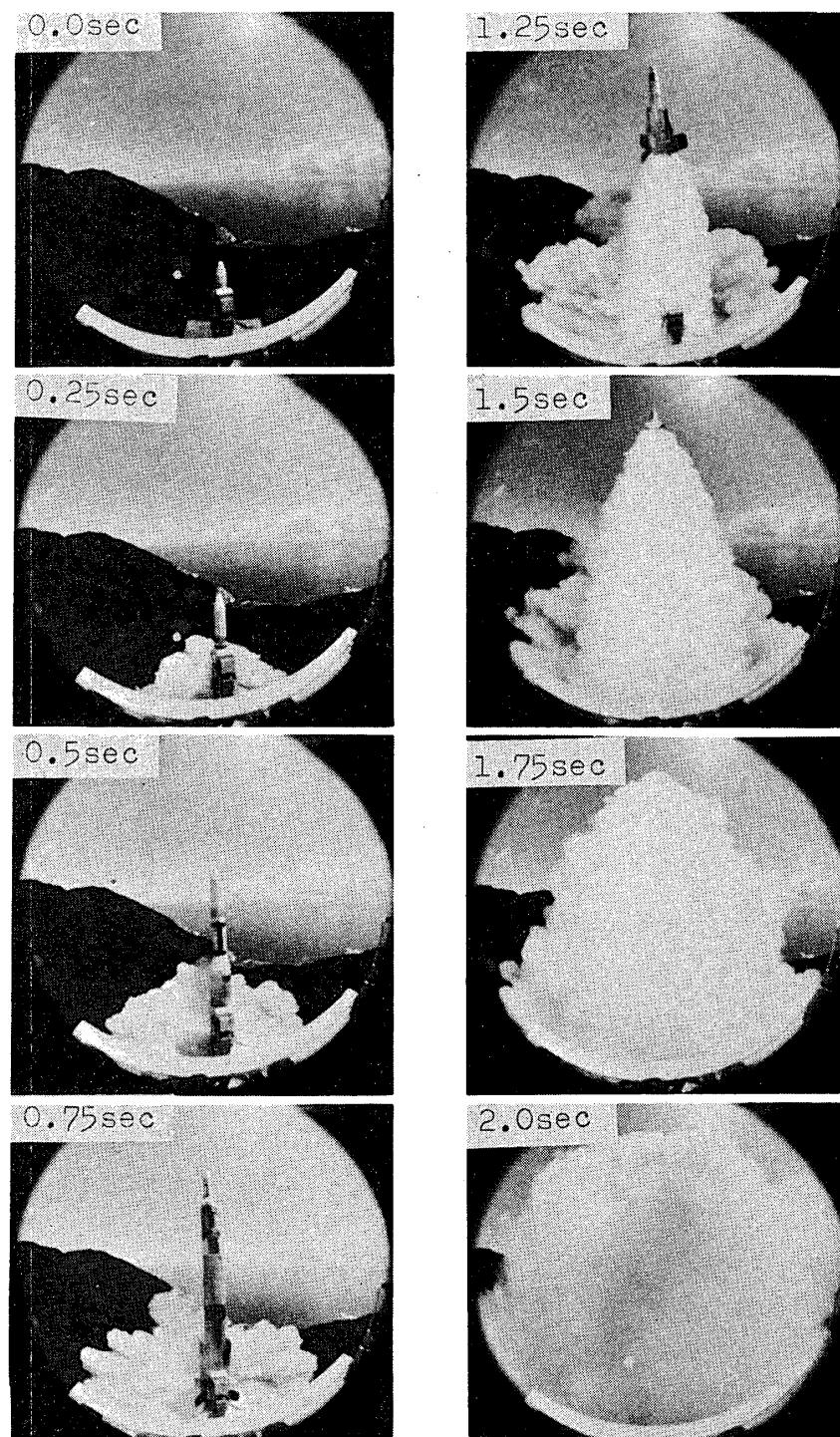
第19図 M-4 S-4のランチャ発進状況（整備搭上の高速度カメラ）



第20図 M-4 S-3・S.B の切離し分散状況（第1光学観測点より）



第21図 M-4 S-4追跡撮影より（第2光学観測点）

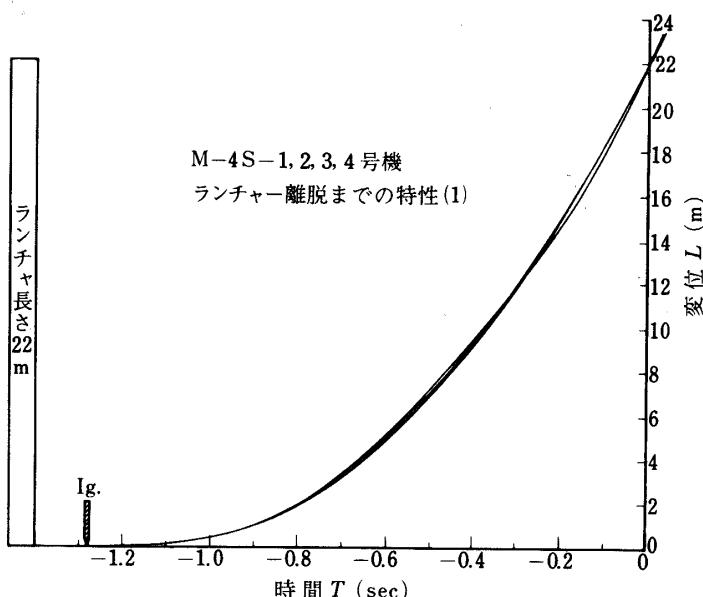


第22図 魚眼レンズとモータードライブカメラの組合せによるM-4S-4の発進状況

4. 解析結果

4.1 ランチャ離脱特性

プリズム式高速度カメラの撮影画面を、くわしく測定しM-4S-1～4号機の発射瞬間の特性を求め、比較を行った。ロケットの発進時刻の厳密な値を撮影画面から直接求めることは困難であり、発進開始時を基準時刻とすることはせずに、時間に対する変位量がある程度、大きくなっている有効ランチャ離脱時期を時間基準として使用している。しかし、ロケット燃料のイグニッシュンスイッチのonと同時に写真用フラッシュが点灯し、この光が高速度カメラの撮影フィルム画面上に記録されるので、ロケット点からランチャ離脱までの時間はかなり精度よく求めることが出来る。第23図に撮影画面から解析を行ったM-4S-1



第23図

～4号機の変位-時間特性を示す。この結果、M-4S型ロケットは1～4号機までは、ランチャ離脱付近の特性はよくそろっており、ほとんど差がない。またフラッシュ点火時を基準としたイグナイタ点火からランチャ離脱までに要した時間を第24図に示す。この表からみたM-4S型1～4号機のランチャ離脱までの時間の偏差は0.2秒(1.5%)であった。また、変位-時間特性を微分して得た速度特性を第25図に示す。これからM-4S-1～4号機はいづれも、ほぼ等加速度運動を行っていることがわかる。

M-4S-1～4号機のランチャ離脱時の平均速度は41.4m/sec.であり、動き出しからランチャ離脱に要した平均時間は1.15秒である。従って平均加速度は36m/sec.²である。

4.2 飛しょう状況

M-4S型ロケットは天候さえよければ、追跡用眼鏡を用い205秒まで、すなわち3段目燃焼終了まで確認出来ることがわかった。この追跡装置に附属している撮影装置による撮影像は149秒、すなわち第2段目燃焼終了まで像を分離することが出来た。画面に見えている像

現象 ロケット号機	点火	動き出し	離脱速度
M - 4 S - 1	- 1.28 sec.	- 1.16 sec.	42 m/sec.
M - 4 S - 2	- 1.28 sec.	- 1.15 sec.	42 m/sec.
M - 4 S - 3	- 1.27 sec.	- 1.14 sec.	40 m/sec.
M - 4 S - 4	- 1.26 sec.	- 1.16 sec.	42 m/sec.
M - 4 S - 1, 2, 3, 4 平均値	- 1.27 sec.	- 1.15 sec.	41.5 m/sec.

第 24 図

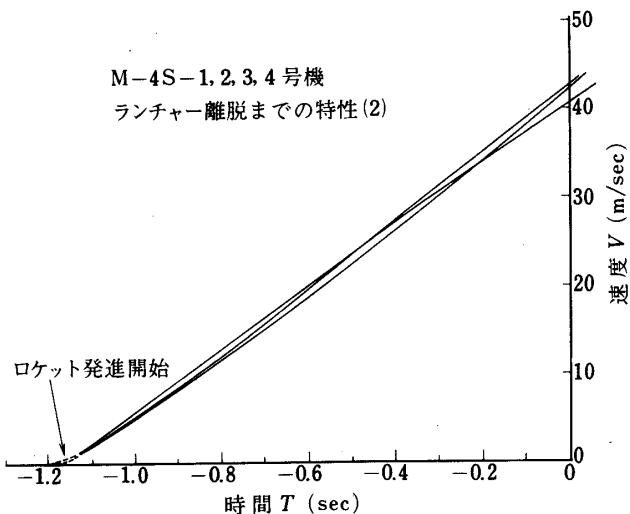
は、同時に記録されている時間軸目盛によって、あらためて、時間と現象の関係を確認することが出来る。撮影装置はフィルム容量が有限で、長い飛しょう時間を記録するために撮影速度を低く20駒/秒以下に押えてある、従って画面は1/20秒ごと、すなわち50msecごとの記録となる。これが一台の装置の時間精度を決定する。しかし、この様な装置を数か所で使用し、総合的に解析を行うことで時間的精度はこれより高くなり得る。

M - 4 S - 3号機、および4号機についての撮影画面から得た現象と時間の関係を第26図に示す。飛しょう状況の比較ではM - 4 S - 4号機は3号機

の比べ補助ブースタの燃焼時間を0.3秒間長く予定したが実測では予定の半分、すなわち0.15秒であった。補助ブースタの分離開始は予定通りであった。補助ブースタが本体から完全に離れるのに画面から0.3秒を必要としている。第1段燃焼終了はほぼ予定通りである。第1段分離時刻は予定値よりわざかに遅れて見えたが、これは画面上で確認出来る程、現象が変化するまでに要した時間であろう。第2段の点火は予定通りである。M - 4 S - 3号機は第2段燃焼中に画面中央でコントラストが低下して確認出来なくなっている。4号機もほぼ第2段燃焼終了時附近でやはり像が小さくなると共にコントラストが低くなつて確認出来なくなった。しかし追跡眼鏡によるロケット像ははっきりしており、第3段目の点火から燃焼終了まで追跡を行った。

4.3 飛しょう軌跡の解析

2か所以上の光学観測点からの追跡データを基にしてロケットの飛しょう軌跡を求めるこ



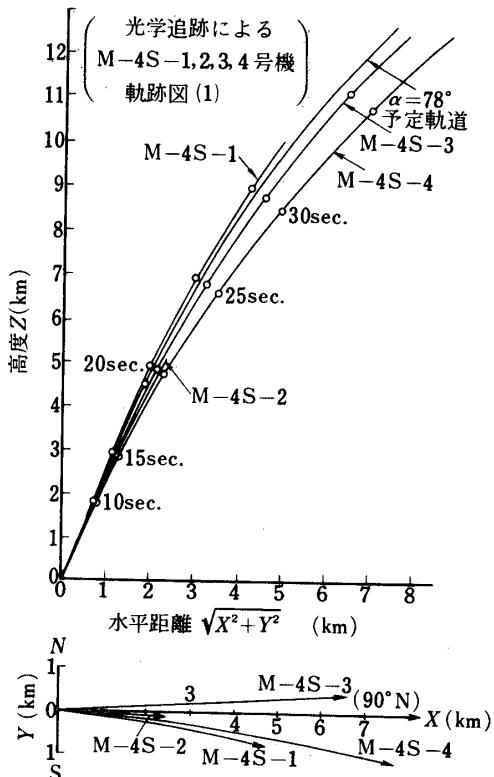
第 25 図

現象 秒	ロケット号機		M - 4S - 3		M - 4S - 4	
	撮影結果からの値	予定値	撮影結果からの値	予定値	撮影結果からの値	予定値
第1段・補助ブースタ点火	0 sec.	0 sec.	0 sec.	0 sec.	0 sec.	0 sec.
補助ブースタ・燃焼終了	7.4 "	7.4 "	7.55 "	7.7 "		
補助ブースタ・切離し開始	9.5 "	9.4 "	9.5 "	9.5 "		
補助ブースタ・切離し完了	9.84 "		9.8 "			
第1段燃焼終了	60.8 "	61 sec.	60.8 "	61 sec.		
第1段切離し	83.8 "	83 "	84.3 "	83 "		
第2段点火	85.8 "	86 "	86.1 "	86 "		
第2段終了		152 "			152 "	
画像消え	119.7 sec.		149.5 sec.			

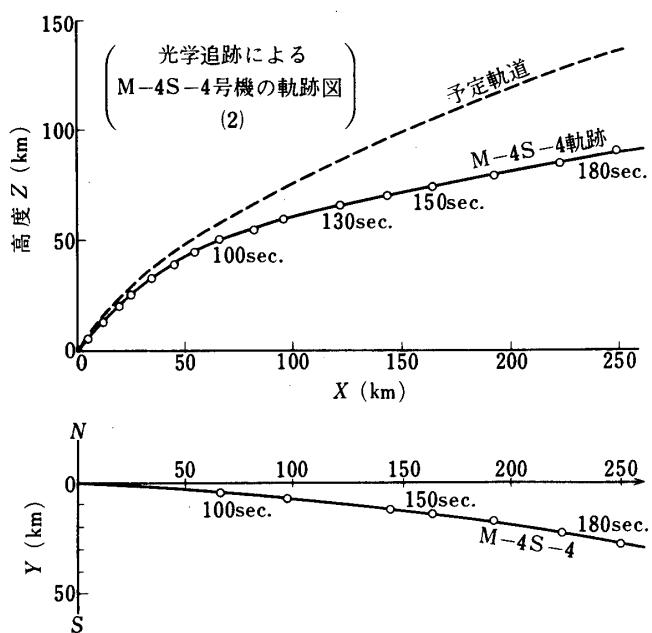
第 26 図

とが出来る。すなわち、各観測点に配置した追跡装置により双眼鏡を用いて手動、またはサーボ機溝で追跡を行いながらロケット像を撮影する、と同時に追跡装置の向いている方向の水平および上下角をロケット像を撮影しているカメラと同じ時間軸上に記録する。写真処理を行った後のデータを2か所以上用いて軌跡を算出することが出来る。

第27図はM-4S-1～4号機の35秒までの軌跡を示す。これによればM-4S-1および3号機はほぼ予定軌道にそって飛しょうを行い、M-4S-2および4号機は予定軌道より低い軌道を飛しょうした。また水平面内の偏よりはM-4S-3号機が発射方向よりわざか北側を飛んでおり、他のM-4S-1, 2, 4号機はいずれも南側にずれて飛しょうしている。第28図は最も長い時間、追跡可能であったM-4S-4号機の軌跡である。第28図によれば予定軌道にくらべ相当に低い軌



第 27 図



第 28 図

道を飛しょうしたことがわかる。この結果はレーダ追跡結果（速報）ともほとんど一致した。水平面内の偏よりは南側であった。

4.4 補助ブースタロケットの切離しおよび落下特性

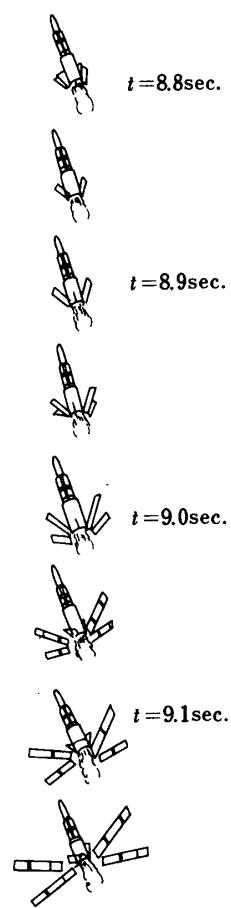
$M-4S$ 型ロケットは発射時の推力を高めるため、第1段ロケットの燃焼と同時に 310ϕ の補助ブースタロケット 8本を使用している。補助ブースタロケットは第1段目ロケットの側面に取付けられているため切離し特性はロケット本体の安定性に大いに影響を与える。また補助ブースタロケットは発射点に比較的近い所で燃焼を終了し、切離しを行うため落下特性および落下位置の実測は重要な意味がある。ここでは $M-4S-2$ 号機の補助ブースタロケットの切離し、および落下特性の解析結果を示す。

4.4.1 補助ブースタロケットの切はなし時期と同時性

ロケット点火時を基準として補助ブースタ・ロケット（SB）の切はなし時刻を実測した結果、8.7秒で切離しが行われた。撮影上の誤差を最大に考慮しても予定の切離し時期に対し0.7秒早い値であった。また4組のSBの切離し時期のはらつきは撮影画面の解析からは全く認められなかった。

4.4.2 補助ブースタロケット切離し後の分散の状況

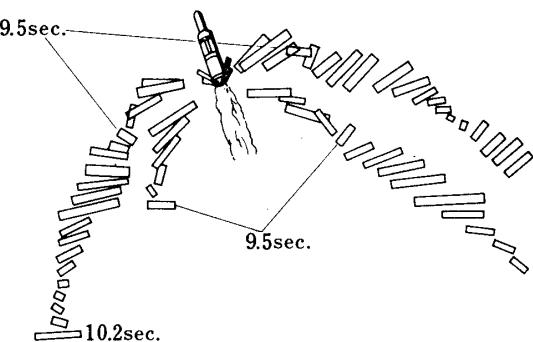
2本1組とした4組のSBはいづれも同時に第1段目ロケットから切離され、直ちに分散している。この様子を第1段目ロケット本体を基準とした図を第30図に示す。分離の際に本体から離れてゆくSBの速度は $16m/sec.$ であることが判った。ただし、このSBの速度を静止座標系に直すにはロケット本体の運動特性を考慮に入れなければならない。



第 29 図

4.4.3 補助ブースタロケット切離し後の回転

ロケット本体から分離した S B 4組はいずれも回転運動をともなって分散している、分離直後の回転運動はロケット本体の速度による風圧を頭部に受けて起り、回転速度は測定の結果、4組共 0.83 c/s であった。また S B は着水直前においても、回転運動を行っており、第 32 図に示す様に $0.6 \sim 2.0 \text{ c/s}$ の回転速である。



第 30 図

4.4.4 補助ブースタロケットの落下軌跡

M-4 S-2 号機の S B は 8 本の内 4 本が同じ画面内に撮影記録された。落下軌跡は第 33 図に示す様になり、着水時の速度は約 49 m/sec. である、また 4 本の S B 着水はほとんど同時であった。

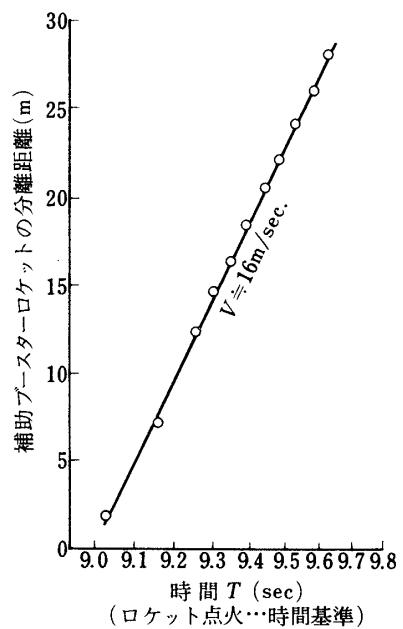
4.5 発射の際のロケットからの火炎の拡がり

ロケット発射の際、ノズルから噴出する火炎は相当広い範囲にわたって影響を与へる。火炎の拡がった先きは白煙となり周囲を覆う。火炎はランチャ上をも昇ってゆきロケット下部をつつんでしまう。発射台ロケットノズル直下には火炎反射板が取付けてあり、火炎の広がり方や方向に影響を与へる。

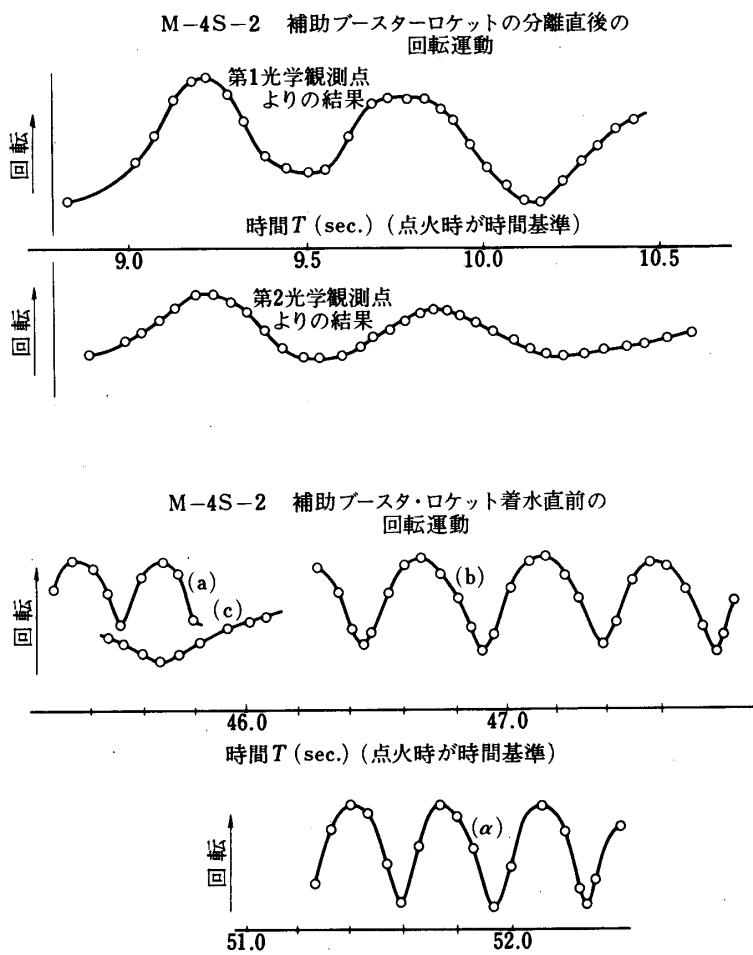
第 2 光学観測点および第 5 光学観測点からの高速度撮影結果によると火炎の拡がり方はロケット号機によらずほとんど同じ傾向を示している。

まずイグナイター点火によってノズルから薄い煙が放出され、 0.125 秒後にノズルから急激に火炎を噴出させる、すなわち、この時期にロケットは発進を始めることになる。初期の火炎拡がり速度は最高、約 130 m/sec. にも達しておりそれ以後、次第に減速し、 0.3 秒後で約 60 m/sec. で拡がり、さらに 0.6 秒を過ぎると急にゆるやかになる。また火炎はランチャ上にも昇ってゆき最高 26 m に達する。しかし、この時ロケットはすでに発進を始めており、数 m 上昇している。ランチャ上を昇る火炎はほぼ 26 m 程で空気中に拡散してしまい、またロケットは続いて上昇しているので火炎のロケットへの影響は他より少ないと考へられる。

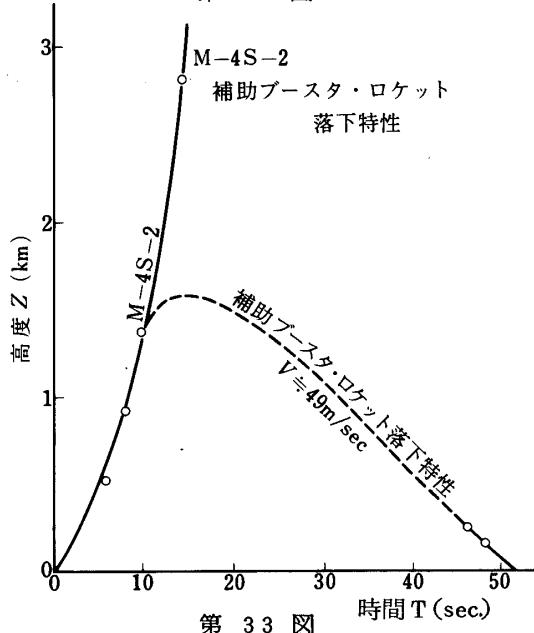
地上を拡がった火炎は、そのまま白煙に変って拡がる。ロケットは上昇しながら火炎を噴出させ、ランチャおよび整備搭基部は長時間、炎にさらされていることがよくわかる。しかし発射点から 50 m はなれると火炎に直接さらされることなく、特に整備搭の裏側は、ほとんど影響ない。



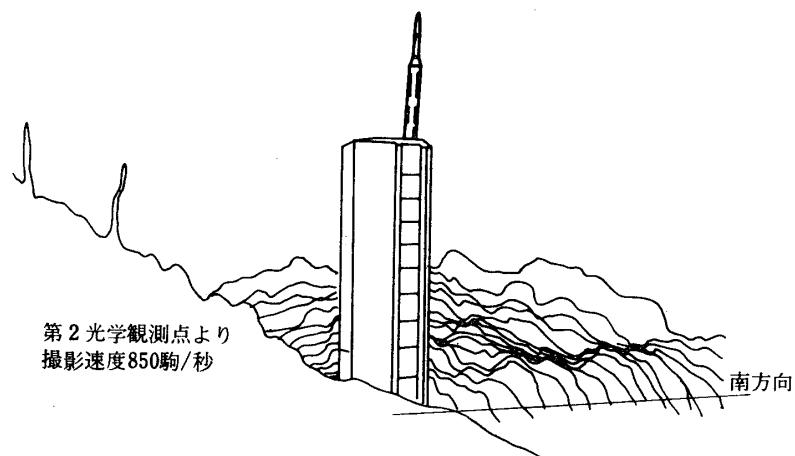
第 31 図



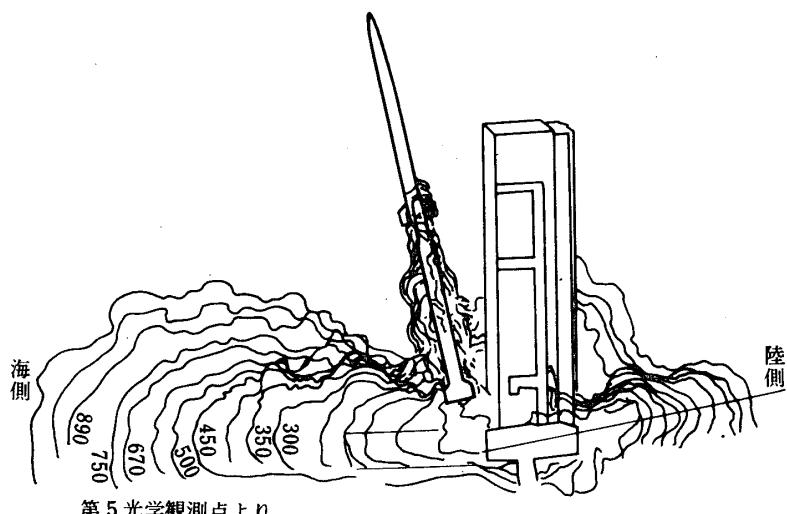
第32図



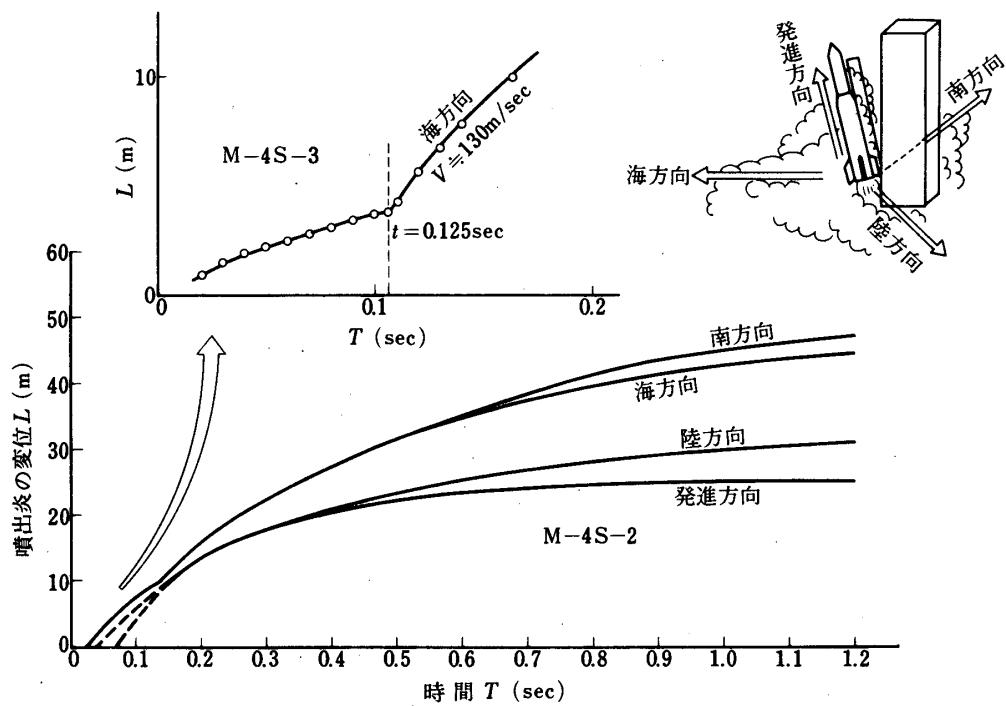
第33図



第 34 a 図



第 34 b 図

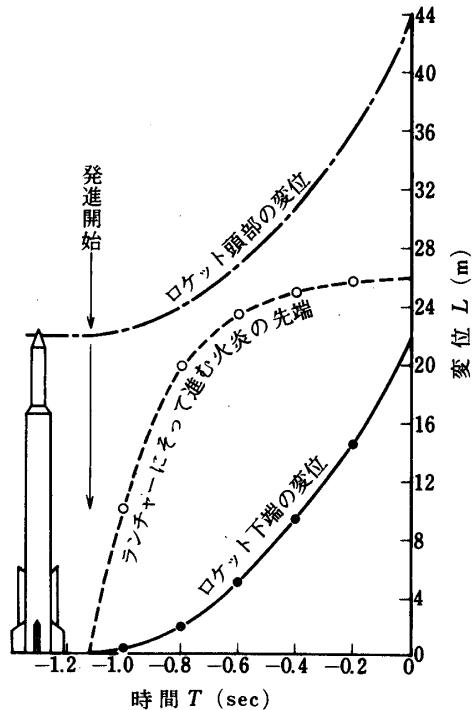


第 35 図

5. 実験結果の検討

(1) M-4S-1～4号機の飛しょう実験のために6か所の光学観測点から観測を行った。ロケットの飛しょう中の状況と飛しょう軌跡を求めるための追跡撮影装置は4か所にあり、飛しょうの初期には多方面からの観測が行われ、次ぎ次ぎに起る現象を正確に認識することが出来た。また遠方に達したロケットについては天候が良ければ相当の追跡能力のあることが確認された。ただし、この追跡装置に併用されている撮影記録装置は、遠方での分解能力が不足していることが、はっきりした。発射附近のくわしい特性と飛しょう状況を観察する追跡撮影装置は非常に良い結果を与えており、常に信頼出来る。固定撮影装置は高速度カメラが主体となっているが、これも十分性能を發揮している。

(2) 追跡結果および撮影記録結果を解析した結果、ロケットは発射附近では、ほとんど予定通りの特性を持って飛しょうしていることが確認され



第 36 図

た。また、飛しょう軌跡は、飛しょう目的には十分な範囲ではあるが、風などの影響を相当受けていることばはっきりした。

(3) ロケットの特性を測定する方法の内、光学観測は最も客觀性の高い方法であり、大いに価値があるものと考えられ、また実験の結果でも、確認された。しかし、そのために使用装置はほとんどが手動によって駆動されており、実験に際して多くの人手を掛ける結果となっている。

6. あとがき

1970年9月から始まったM-4 S型ロケット実験も、すでに3年を過ぎ、この間4号機までの打上げ実験が行われた。その内、3機が初期の目的通り、人工衛星を地球を廻る軌道に乗せることに成功し、M-4 S型ロケットは安定度の高い信頼されるロケットとして定着した様に思われる。M-4 S型の様にロケットが大型化すると、我々の小規模の光学追跡装置でも数100kmの追跡が可能であった。今後、人工衛星打上げ用としてM-3 C型ロケットが使用される様になっても十分、同様の追跡能力を示すことが出来ると思われるが、現在使用している装置のほとんどが古くなり（元々古い装置の組合せで使用しているもの多かった）常時、細心の注意をもって保守を行っているが、それでも故障発生率が増大しつつあることを考慮しなければならない時期に入ってきた様に思われる。

1974年11月29日 新設部（工学）