

M-V-1, 3, 4号機の光学観測について

喜久里豊, 榮樂正光,
籾田元紀, 中島 俊

はじめに

M-V-1号機は、平成9年2月12日13時50分に打ち上げられMUSES-B (「はるか」) を軌道に乗せることに成功した。光学班としては、この時発射後172秒まで飛翔追跡をした。M-V-3号機は、平成10年7月4日3時12分に打ち上げられPLANET-B (「のぞみ」) を軌道に乗せ、光学班は発射後340秒まで飛翔追跡をした。M-V-4号機は、平成12年2月10日10時30分に打ち上げられた。

しかしながら1段目モータの異常により予定軌道が外れ2段目3段目で回復する事が出来なかった為、衛星を軌道に乗せることはできなかった。この時も光学班は、1段目の不具合事象を含むロケットの飛翔を確認し、発射後300秒まで追跡した。光学班は、長年に渉り、追跡架台に積載する35mm長尺フィルム使用の計測カメラに対し撮影レンズの長望遠化を図ってきており、M-3SII型以前の実験では長くても発射後135秒付近までの記録であったが、M-V型ロケット実験の長望遠記録に関しては、高画質TVカメラを用いる事によって更に長秒時記録が可能であることが確認できた。これは偏に、更新したTVカメラがコンパクト化され、ビデオ画像記録機能・性能が向上した事によるものである。この経験から、今後の光学観測方式を考える上で、自動駆動追跡架台に、複数台の各種機能を持つ小型高性能TVカメラを積載し効果的な撮影をする事が一つの改善目標になると考えられる。

下記のM-V-1, 3, 4号機結果報告では、従来のフィルム記録を主にした観測方式で内容を記述しているが、この中でどの作業内容が将来のビデオ方式作業に変更・関連付け可能であるか検討出来れば幸いと考えられる。

1. 観測室(点)および装置使用状況

M-V-1, 3, 4号機に対し用いた光学観測室(点)の位置は、表1に示す4カ所であり、表内の数値は、Muランチャ旋回中心点(北緯 $31^{\circ} 14' 50''.73N$; 東経 $131^{\circ} 5' 4''.66E$; 標高244.034m)から各観測点を視準した時の値を示している。

この中の第1光学観測点および第3光学観測点が、飛翔ロケットの追跡点である。

発射点後方の第1光学観測室では、発射点に近く急速なロケットの上昇に対応できるように手動式の追跡架台が用いられている。発射点の南西方向、約2kmの距離にある追跡点の第3光学観測室では、内部にサーボモータが組み込まれた追跡架台があり、架台駆動は、ロケットの性能計算データを用いたプログラム制御による自動追跡を行わせている。

表1 Mu 発射点に対する光学観測点関係位置

観測点	水平距離	高低差	上下角	方位角	場所
第1光学	480.00m	+104.01m	+12.226'	294.596' N	望楼の丘中腹
第3光学	1,967.94m	+21.20m	+0.617'	217.189' N	宮原台地北端
第5光学	449.18m	+90.93m	+11.443'	13.695' N	第5光学台地
第6光学	8.83m	+32.05m	+74.615'	247.616' N	整備塔11階

それぞれの架台に積載される主な撮影装置は、400ftの長尺フィルムを用い画面内に時刻信号と共に追跡角度データを同時記録できる撮影速度可変の35mm計測用カメラであり、撮影時の使用レンズ以外は第1光学・第3光学観測点とも、同一機能・形態のものである。追跡時の角度データは、それぞれの架台の水平・垂直軸に取り付けられたロータリエンコーダからの角度出力信号が、バッファを経て撮影マスク内の片側に取り付けられたドットLEDアレイ上に時刻信号と共に2進法で表示され、飛翔現象と共にフィルムに同時記録されて、現像処理を経て専用フィルム解析機で自動読み出しできるようになっている。

また第1光学・第3光学観測点とも、架台積載用のサブカメラとして、高画質のカラーTVカメラを併用している。

サブカメラの画面内にも、バッファおよびビデオ・カウンター等の機器を経由した時刻・上下角度・方位角度のキャラクターデータが挿入されて飛翔ロケットの追跡画像と共にリアルタイムで状況確認ができるようになっており、その画面は、リアルタイムでコントロールセンターのRS班に専用ビデオ回線を用い送られている。追跡架台のエンコーダ出力信号は、バッファから出力後、別の専用信号回線によりコントロールセンターのRS班に送られ飛翔保安システムに用いられている。

尚、第3光学点の追跡架台上では、第1光学よりも積載能力が高いため白黒赤外ITVカメラ等も使い、飛翔中の噴射炎などを主体にした追跡記録をしている。その他、レンズの焦点距離を種々変えて広角画面および拡大画面などのビデオ記録を行っている。

それぞれの追跡架台・装置は、専任の担当者が調整し追跡操作をしている。

第5光学観測室および整備塔11階の第6光学観測点では、各種レンズを用いた高速度カメラおよび固定記録カメラ(MDなど)が設置され、X時の時刻信号により駆動撮影している。高速度カメラ等は、ロケットの発射状況記録を行うため16mm高感度フィルムを用い毎秒500~1,000駒/秒の撮影が行われ、撮影速度が低くても現象がブレ無いうように、駒あたりのシャッター速度を短くして(高速にして)使っている。

表2, 表3, 表4にM-V-1, 3, 4号機実験時の観測点および装置の使用リストを示す。

表2 M-V-1号機 光学観測点使用一覧表 発射日時：H9年2月12日13時50分 発射角：Az=93° El=82.6° 天候：晴れ

観測者 (担当者)	使用法	装置名	レンズ：明るさ 焦点距離	絞り	フィルタ	フィルム 名称 Type	感度 JIS	撮影速度 (コマ/秒)	シャッター 速度	追跡 時間	フィルム 使用枚	備考 (撮影結果, 現 象, その他.....)
第1光学 (喜久里)	追跡 撮影	C T-3 P/S35mm 4ML	Nikkor zoom F/9.5 200 ~ 600mm	f: 16	(無し)	Fuji F-500 Type 8570	500	30 f/s	1/1200 秒	172 秒	400 ft	発射直後の追跡は、 50m 時 上空の薄雲、 噴射残留煙などで視 界を遮られ、X+150 秒の後、X+172 秒まで追 跡できた。
		日盛りカメラ 16mm Bolex	Cine Nikkor F/1.8 13mm (鏡筒付)	f: 8	(無し)	EK XX Type 7222	250	20 f/s	数μ秒 (1/1000)	172 秒	100 ft	
		カー TV カメラ Sony DXC-750	キヤノン TV スター F/1.8 9.8-143mm UP286 mm	f: Aut 18db	(無し)	AG-7400 (S-VHS)	...	(60C/S) ... f/s	1/1000 秒	172 秒	.....
第3光学 (築業)	追跡 撮影	C T-2 P/S35mm 4ML	Nikkor1200mm F/11	f: 22	L37C	Fuji F-500 Type 8571	500	30 f/s	1/1200 秒	162 秒	400 ft	追跡良好
		追跡カメラ 16mm Bolex	Nikkor 200mm F/4	f: 32	フィルター No.85 ND2 倍	Fuji F-125 Type 8631	125	50 f/s	1/107 秒	80 秒	100 ft	
		カー TV カメラ NEC SP-3A	Nikkor zoom F/8 180 ~ 600mm	f: Aut	内蔵 2	BR-S811 (S-VHS)	...	(60C/S) ... f/s	1/500 秒	162 秒	.....
		カー TV カメラ VictorKY-F55B	Nikkor zoom F/4.5 50 ~ 300mm	f: 8	(無し)	BR-S810 (S-VHS)	...	(60C/S) ... f/s	1/1000 秒	162 秒	.....
		赤外 TV カメラ Cannon Ci-20r	Nikkor zoom F/3.5 43 ~ 86mm	f: 11	ND8 倍	BR-8600 (VHS)	...	(60C/S) ... f/s	1/1000 秒	162 秒	.....
		B/W ITV カメラ NEC TL-324A	Nikkor300mm F/4.5	f: 22	(無し)	BR-1600 (VHS)	...	(60C/S) ... f/s	1/500 秒	162 秒	.....
第5光学 (喜久里)	固定 撮影	追跡 HS カメラ 16mm IPL#1	Nikkor 500mm F/8 (Reflex Type)	f: 8	フィルター No.85 ND4 倍	Fuji AX Type 8524	500	100 f/s	1/1200 秒	154 秒	400 ft	ランチャ離脱状況 照度 250 ~ 500ft-cd
		追跡 カメラ ニコン F II (MD)	Nikkor 500mm F/8 (Reflex Type)	f: 16	ND4 倍	Fuji-Color HG 200	200	1 f/s	1/500 秒	36 秒	(36exp)	
		固定 HS カメラ Stalex WS-3	Nikkor105mm F/2.8	f: 5.6	(無し)	Fuji F-125 Type 8631	125	500 f/s	1/2500 秒	(固定) 8 秒	100 ft	
第6光学 (喜久里, 築業)	固定 撮影	固定 HS カメラ P/S IPL #2	Nikkor 35mm F/2.8	f: 5.6	(無し)	EK-Color Type 7291	100	500 f/s	1/2000 秒	(固定) 8 秒	100 ft	ランチャ離脱状況 (整備塔 1 階)
		固定 カメラ ニコン F III (MD)	Nikkor 200mm F/4	f: 8	(無し)	Fuji-Color HG 200	200	6 f/s	1/2000 秒	(固定) 6 秒	(36exp)	
第6光学	固定 撮影	固定 HS カメラ Stalex WS-2	Nikkor 8mm F/2.8 (Fish Eye)	f: 8	L37C	Fuji F-125 Type 8631	125	500 f/s	1/2500 秒	(固定) 8 秒	100 ft	

表3 M-V-3号機 光学観測点使用一覽表 発射日時：H10年7月4日3時12分 発射角：Az=90.3° El=83.3° 天候：晴れ

観測室 (担当者)	使用法	装置名	レンズ：明るさ 焦点距離	絞り	フィルタ	フィルム 名称 Type	感度 JIS	撮影速度 (コマ/秒)	シャッター 速度	追跡 時間	フィルム 使用枚数	備考 (撮影結果, 現 象, その他.....)
第1光学 (喜久里)	追跡 撮影	C T-3 P/S35mm 4ML	Nikkor zoom F/9.5 200 ~ 600mm	f: 9.5	(無し)	Fuji F-500 Type 8571	500	30 f/s	1/75 秒	204 秒	400 ft	追跡良好 3段目燃焼終了まで 追跡確認した。
		川盛りカメラ 16mm Bolex	Cine Nikkor F/1.8 13mm (鏡筒ノケ付)	f: 5.6	(無し)	EK PlusX Type 7231	80	20 f/s	数枚 (1コマ)	200 秒	100 ft	
		カー TV カメラ Sony DXC-750	キヤノン TV スター F/1.8 9.8-143mm UP286 mm	f:Aut 18db	(無し)	AG-7400 (S-VHS)	...	(60C/S) ... f/s	1/60 秒	333 秒	.....
第3光学 (榮 樂)	追跡 撮影	C T-2 P/S35mm 4ML	Nikkor F/11 1200mm	f: 22	L37C	Fuji F-500 Type 8571	500	30 f/s	1/150 秒	207 秒	400 ft	追跡良好 3段目燃焼終了後も 数秒間, 確認追跡 した。
		追跡カメラ 16mm Bolex	Nikkor 200mm F/4	f: 8	カラー No.85 ND2 倍	Fuji F-500 Type 8671	500	40 f/s	1/80 秒	100 秒	100 ft	
		カー TV カメラ NEC SP-3A	Nikkor zoom F/8 180 ~ 600mm	f:Aut 12db	内蔵 2	BR-S811 (S-VHS)	...	(60C/S) ... f/s	1/250 秒	340 秒	.....
		カー TV カメラ VictorKY-F55B	Nikkor zoom F/4.5 50 ~ 300mm	f: 5.6	(無し)	BR-S810 (S-VHS)	...	(60C/S) ... f/s	1/250 秒	340 秒	.....
		赤外 TV カメラ Cannon Ci-20r	Nikkor zoom F/3.5 43 ~ 86mm	f: 8 AGC	ND8 倍	BR-8600 (VHS)	...	(60C/S) ... f/s	1/500 秒	340 秒	.....
第5光学 (喜久里)	固定 撮影	B/W ITV カメラ NEC TL-324A	Nikkor300mm F/4.5	f: 22	(無し)	BR-1600 (VHS)	...	(60C/S) ... f/s	1/500 秒	340 秒	ランチャ離脱状況
		固定 HS カメラ P/S IPL #1	Nikkor105mm F/2.8	f: 5.6	(無し)	Fuji F-125 Type 8631	125	500 f/s	1/2000 秒	(固定) 8 秒	100 ft	
		固定 HS カメラ P/S IPL #2	Nikkor 35mm F/2.8	f: 5.6	(無し)	Fuji F-125 Type 8631	125	500 f/s	1/2000 秒	(固定) 8 秒	100 ft	
第6光学 (喜久里, 榮 樂)	固定 撮影	固定 スチール カメラ コロン F III (MD)	Nikkor105mm F/2.8	f: 5.6	(無し)	Fuji-Color REALA 100	100	4 f/s	1/2000 秒	(固定) 6 秒	(24exp)	ランチャ離脱状況 (整備塔 1 階)
		固定 HS カメラ Stalex WS-3	Nikkor 8mm F/2.8 (Fish Eye)	f: 11	L1BC (内蔵)	Fuji F-125 Type 8631	125	500 f/s	1/2500 秒	(固定) 8 秒	100 ft	

表4 M-V-4号機 光学観測点使用一覧表 発射日時：H12年2月10日10時30分 発射角：Az=93.7° El=79.7° 天候：晴れ

観測者 (担当者)	使用法	装置名	レンズ：明るさ 焦点距離	絞り	フィルタ	フィルム 名称 Type	感度 JIS	撮影速度 (コマ/秒)	シャッター 速度	追跡 時間	フィルム 使用枚	備考 (撮影結果, 現 象, その他.....)
第1光学 (松久里)	追跡 撮影	C.T-3 P/S35mm 4ML	Nikkor zoom F/9.5 200 ~ 600mm	f: 16	(無し)	Fuji F-500 Type 8571	500	30 f/s	1/1200 秒	300 秒	400 ft	近辺での描写明瞭。 X+100秒以後は、 残留煙のため視界 不良。 3段自然焼終了ま で追跡確認した。異 常を確認できる。
		日盛りカメラ 16mm Bolex	Cine Nikkor F/1.8 13mm (魚眼付)	f: 5.6	(無し)	EK PlusX Type 7231	80	20 f/s	1/1200 秒	200 秒	100 ft	
		カー TV カメラ Sony DXC-750	キヤノン TV S-A F/1.8 9.8-143mm UP286 mm	f:Aut 0db	(無し)	AG-7400 (S-VHS)	...	(60C/S) ... f/s	1/60 秒	300 秒	.....
第3光学 (築業)	追跡 撮影	C.T-2 P/S35mm 4ML	Nikkor 1200mm F/11	f:11 ~16	L37C	Fuji F-500 Type 8571	500	30 f/s	1/1200 秒	290 秒	400 ft	追跡良好。 3段自然焼終了ま で追跡確認した。 (1段目時射異常お よび姿勢の異常 を確認。)
		追跡カメラ 16mm Bolex	Nikkor 200mm F/4	f: 8	ラブリ No.85 ND4 倍	Fuji F-500 Type 8632	125	50 f/s	1/107 秒	80 秒	100 ft	
		カー TV カメラ NEC SP-3A	Nikkor zoom F/8 180 ~ 600mm	f:Aut 12db	内蔵2	BR-S811 (S-VHS)	...	(60C/S) ... f/s	1/500 秒	290 秒	.....
		カー TV カメラ Victor KY-F55B	Nikkor zoom F/4.5 50 ~ 300mm	f: 5.6	(無し)	BR-S810 (S-VHS)	...	(60C/S) ... f/s	1/1000 秒	290 秒	.....
		赤外 TV カメラ Cannon Ci-20r	Nikkor zoom F/3.5 43 ~ 86mm	f: 11 AGC	ND8 倍	BR-8600 (VHS)	...	(60C/S) ... f/s	1/1000 秒	290 秒	.....
		BAW ITV カメラ NEC DXC-107	Nikkor 500mm F/8 (Reflex Type)	f: 8	ND4 倍	BR-1600 (VHS)	...	(60C/S) ... f/s	1/1000 秒	290 秒	.....
第5光学 (松久里)	固定 撮影	追跡 スタルカメラ ニコン F II (MD)	Nikkor 1200mm F/11	f: 11 ~16	(無し)	Fuji-Color REALA 100	100	2 f/s	1/500 秒	(固定) 17 秒	(36exp)	ランチャ離脱状況
		固定 HS カメラ P/S IPL #1	Nikkor 105mm F/2.8	f: 5.6	(無し)	Fuji F-125 Type 8631	125	500 f/s	1/2500 秒	(固定) 8 秒	100 ft	
第6光学 (松久里, 築業)	固定 撮影	固定 HS カメラ P/S IPL #2	Nikkor 35mm F/2.8	f: 5.6	(無し)	Fuji F-125 Type 8631	125	500 f/s	1/2000 秒	(固定) 8 秒	100 ft	電源故障 N. G. (整備塔 11 階)
		固定 HS カメラ Statex WS-3	Nikkor 8mm F/2.8 (Fish Eye)	f: 11	L1BC (内蔵)	Fuji F-125 Type 8631	125	500 f/s	1/2500 秒	(固定) 8 秒	100 ft	

2. M-V-1, 3, 4号機のランチャ離脱状況について

写真1は、M-V-1号機の発射状況（ランチャ離脱）の解析を行うため、発射点の北側となる第5光学観測点で16mm高速度カメラを用い500駒/秒で撮影したフィルムから駒焼きコピーしたものである。整備塔・ランチャおよび火焰壕・火焰偏向板は、M-V型ロケット用に改造されて今回、V型ロケットによる初めての使用となったが画面の様子から、噴射火焰・噴煙は良好に海側に噴射進展している状況が分かる。またM-3SII型ロケットの発射時に見られたランチャブーム基部付近の“噴煙の固まり”が生じていない事と、ランチャブームと摺動中の機体との間の“煙の伝い登り”現象などが全く認められず機体が煙に隠されることの無い“明瞭な発射状況”が認められ、安定した動きでランチャを離脱する状況が記録された。さらに固定視野の大きさは、 $X+4$ 秒をわずかに超える時間範囲内であるが、16mmフィルム画面上において、約 $X+3.5$ 秒付近でランチャ離脱後に直線的であった軌道が極めて僅かだが前方へ折れ曲がった様子等の細かい現象も確認できた。以上は、3号機、4号機に共通する特徴である。ただし4号機については、点火直後の噴射に異常が生じ噴流内の灼熱し（光を伴った小破片が偏向盤により跳ね返り発射点周辺に沢山の飛散物を発生させた状況）が加わっている。

第1図は、M-V-1, 3, 4号機の「ランチャ離脱特性」を表すグラフで、ロケットの移動量を示す「変位曲線」とそれを図式微分した「速度曲線」である。

図中の特徴としては、ランチャレールの長さ9mおよびランチャブーム長さ29.5mが基準となっており、その距離を通過する時の速度およびフラッシュON（XマークON）から通過までの経過時間をロケットごとに比較表示している。表5では、各ロケットが噴射を始めるまでの時間と、ロケット本体が動き始めるまでの時間を追加している。

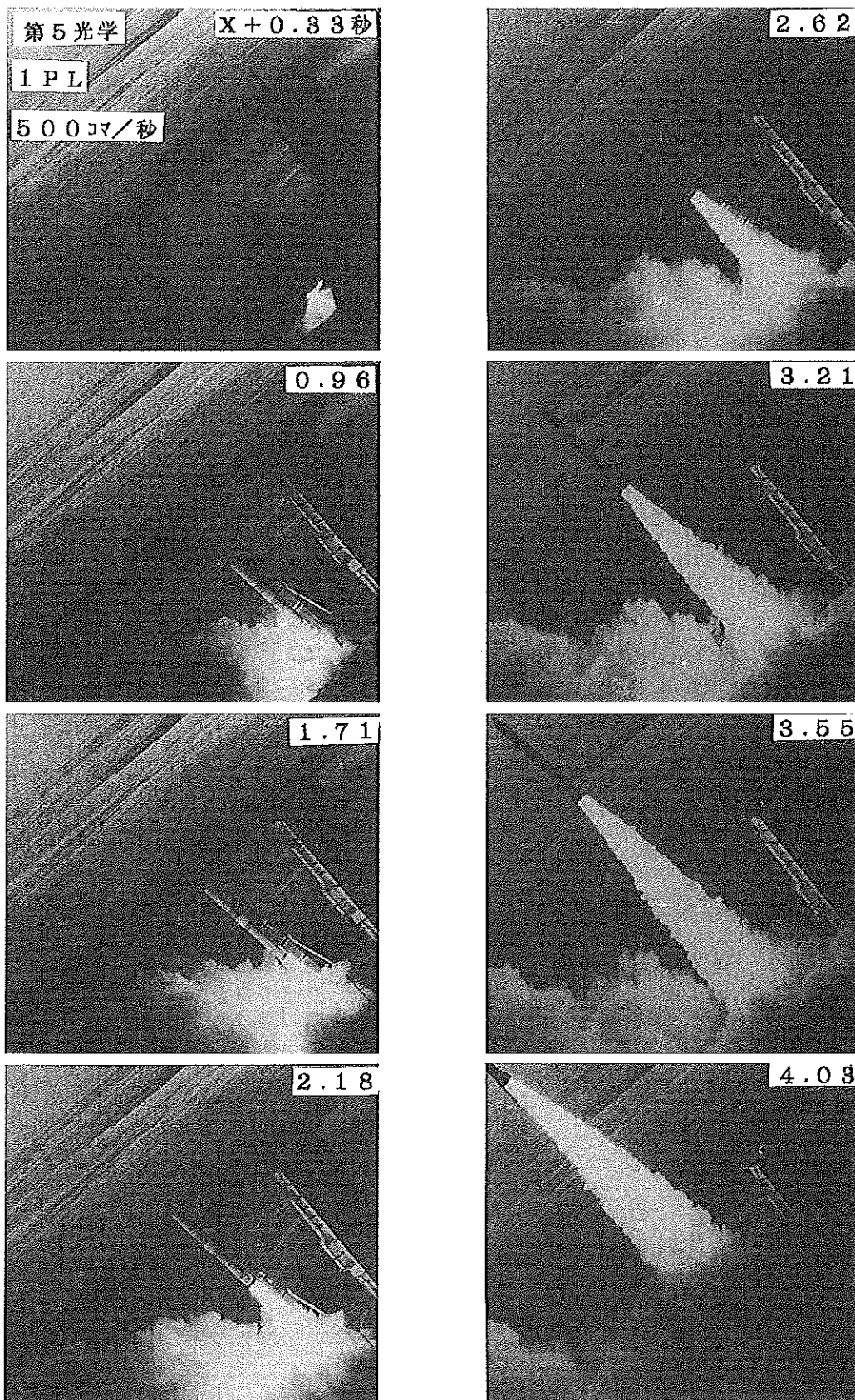
表中の4号機に関する噴射はじめの時間が、“煙で見えない”となっているのは、打ち上げ15秒前位から射出中のSPGGの煙がその時の風向きによりノズル周囲に滞留していたからであり、前述した1段目の噴射煙によるランチャブーム基部付近の“噴煙の固まり”によるものではない。

表5に示されているように3機のM-V型ロケットのランチャ離脱特性の平均値は、噴射を始める時刻が $X+0.19$ 秒、動き始めの時刻が $X+0.39$ 秒、9mのランチャレールを離脱する時刻が $X+1.53$ 秒、その時の速度が16.3m/秒、29.5mのランチャブームを離脱する時刻が $X+2.42$ 秒、その時の離脱速度が29.7m/秒となった。

表6は、M-3SII型とM-V型とのランチャ離脱特性値を比較したものである。当然だがV型の方が動きが遅くなっており、29.5mランチャブームを離脱する時間は0.48秒ほど遅く、速度は5.4m/秒ほど遅い。ランチャレール離脱特性については、レールの長さに9mと10mとの違いがあるため表記の通りとなった。

尚、第6光学観測点（整備塔11階）の駒焼き写真は、M-3SII型の結果（特集号）に掲載の絵柄と同じであるため今報には掲載しない。

写真1 M-V-1号機 ランチャ離脱状況



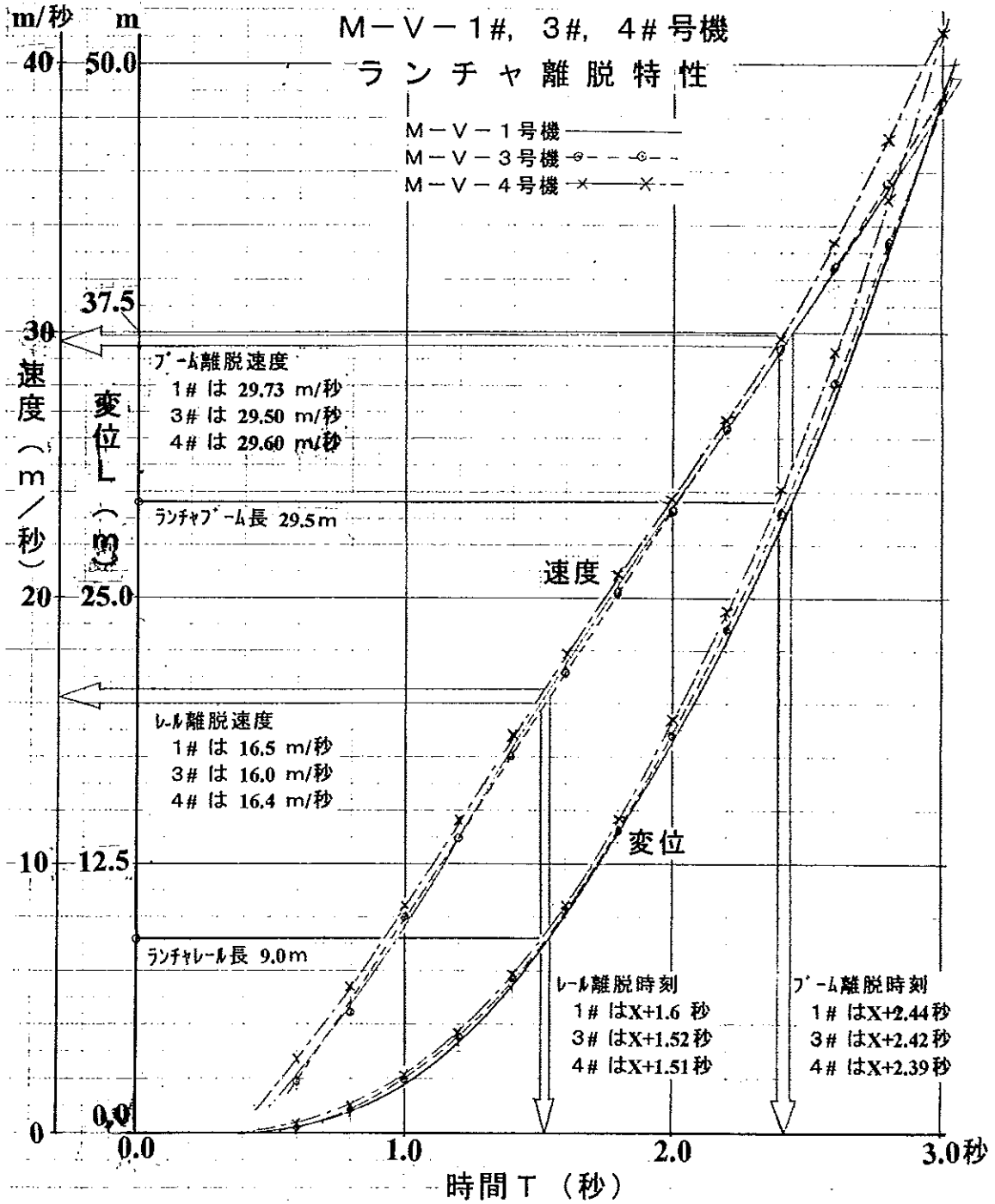


図1 M-V-1, 3, 4号機のランチャ離脱特性

表5 M-V-1, 3, 4号機 ランチャ離脱特注値の比較

	1号機	3号機	4号機	平均
噴射はじめの時間	X+0.19秒	X+0.18秒	(煙で見えない)	X+0.19秒
動き始める時間(約)	X+0.36秒	X+0.44秒	X+0.38秒	X+0.39秒
9mのランチャレール離脱時間	X+1.56秒	X+1.52秒	X+1.51秒	X+1.53秒
離脱速度	16.5 m/秒	16.0 m/秒	16.4 m/秒	16.3 m/秒
29.5mランチャブーム離脱時間	X+2.44秒	X+2.42秒	X+2.39秒	X+2.42秒
離脱速度	29.7 m/秒	29.8 m/秒	29.6 m/秒	29.7 m/秒

表6 M-V型ロケット, M-3S II型ロケットのランチャ離脱特性値の比較

	M-3S II-1~7号機平均	M-V-1, 3, 4号機平均
Flash on ~ 噴射始めまでの時間	0.10秒	0.19秒
Flash on ~ 動き始めまでの時間	0.25秒	0.39秒
ランチャレール離脱時間 (レール長)	1.25秒 (10m)	1.53秒 (9m)
離脱速度	20.6 m/秒	16.3 m/秒
ランチャブーム離脱時間 (ブーム長)	1.94秒 (29.5m)	2.42秒 (29.5m)
離脱速度	35.1 m/秒	29.7 m/秒

3. 飛翔状況について

3-1 M-V-1号機の飛翔状況

M-V-1号機は、平成9年2月12日13時50分に上下角82.6° 方位角93° に設置され晴れの天候で打ち上げられた。

第1光学観測点の手動追跡では、15倍追跡眼鏡を通して追跡の待ち構えをしたが、発射直後にランチャを離れて上昇するロケット経路が、KS台地の50m風向風速塔と重なった為、追跡のタイミングが外され、飛翔ロケットを直視できず、さらに、やや向かい風であったことと、直後に発生した残留煙に視界を阻まれる状況とで、相当長い時間、視野内にロケットを再捕捉できなかった。その後、X+150秒付近からX+172秒付近の間に、雲の間あるいは残留煙の間を移動しているノズルの火焰輝点を眼鏡により確認し追跡したが、後のフィルム処理結果では、湧き上がってくる薄い雲のために輝点のコントラストが弱まりX+160秒付近までの記録となった。

第3光学観測点では、ノミナルデータによるプログラム駆動をした。

結果として、追跡架台の飛翔ロケットに対する追従性は極めて良好であった。記録内容は、その時の天候の薄い雲によって機体が見え隠れする部分もあるが、雲から再度現れるロケットの視野内位置としては、僅かな手動の補正を加えているが、ほぼ画面中心でX+162秒まで良好なロケット捕捉を行った。この観測点における35mm計測カメラおよびTVカメラ等による記録結果では、(2)で述べたX+3.5秒付近における僅かに軌道が折れ曲がる状況が、一瞬だが明瞭に認められ、更に飛翔中の機体が細かく上下にピッチングしながら軌道修正をしている様子がX+10秒付近まで認められた。そしてM-V型の新機能である1段目分離・2段目点火を同時に行うX+75秒の「ファイア・インザホール」現象が、良好に第3光学追跡架台積載の各カメラで記録された。

写真2は、その一例で35mm計測カメラの連続記録から駒焼きしたものである。

写真2 M-V-1号機 第3光学追跡

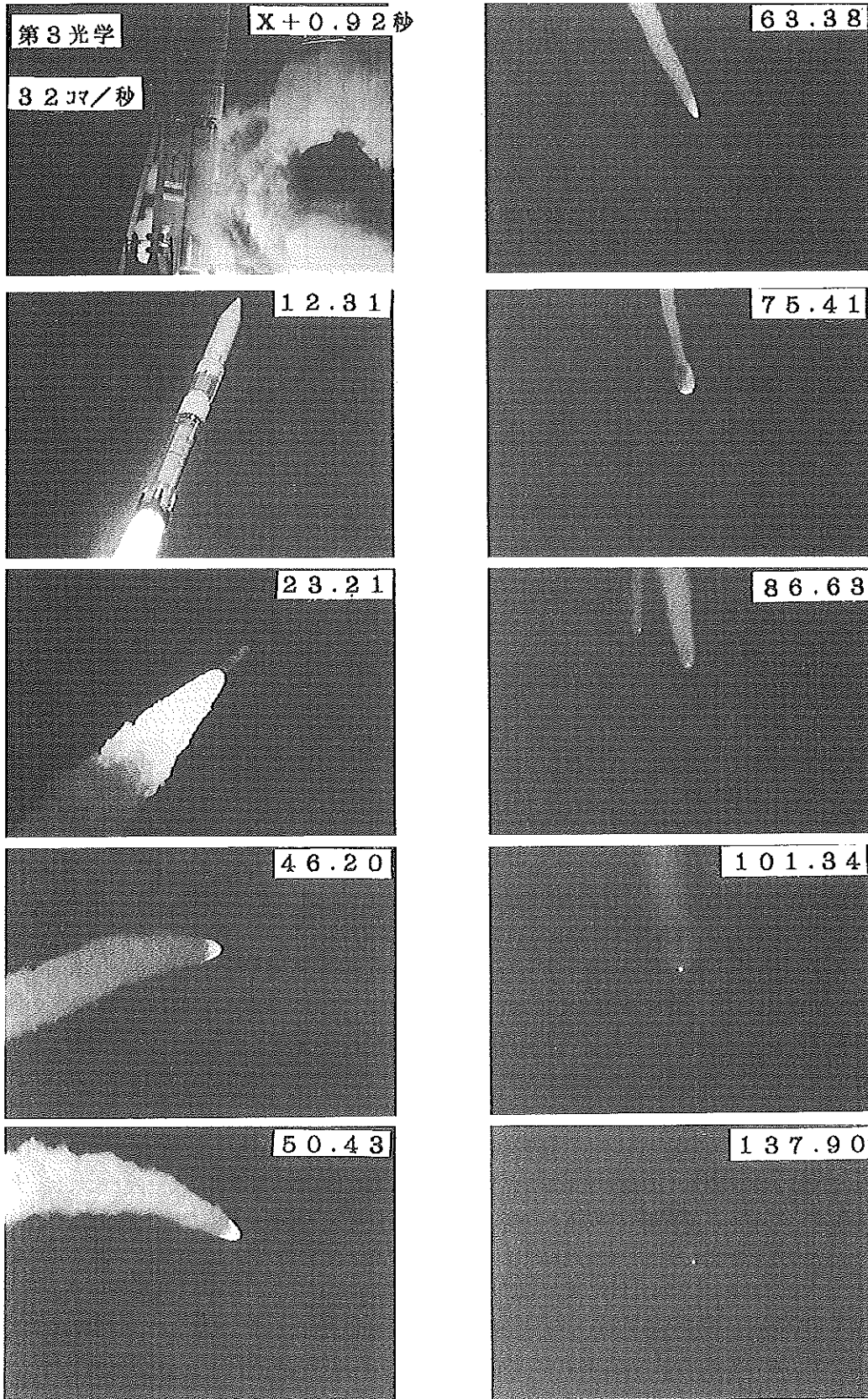
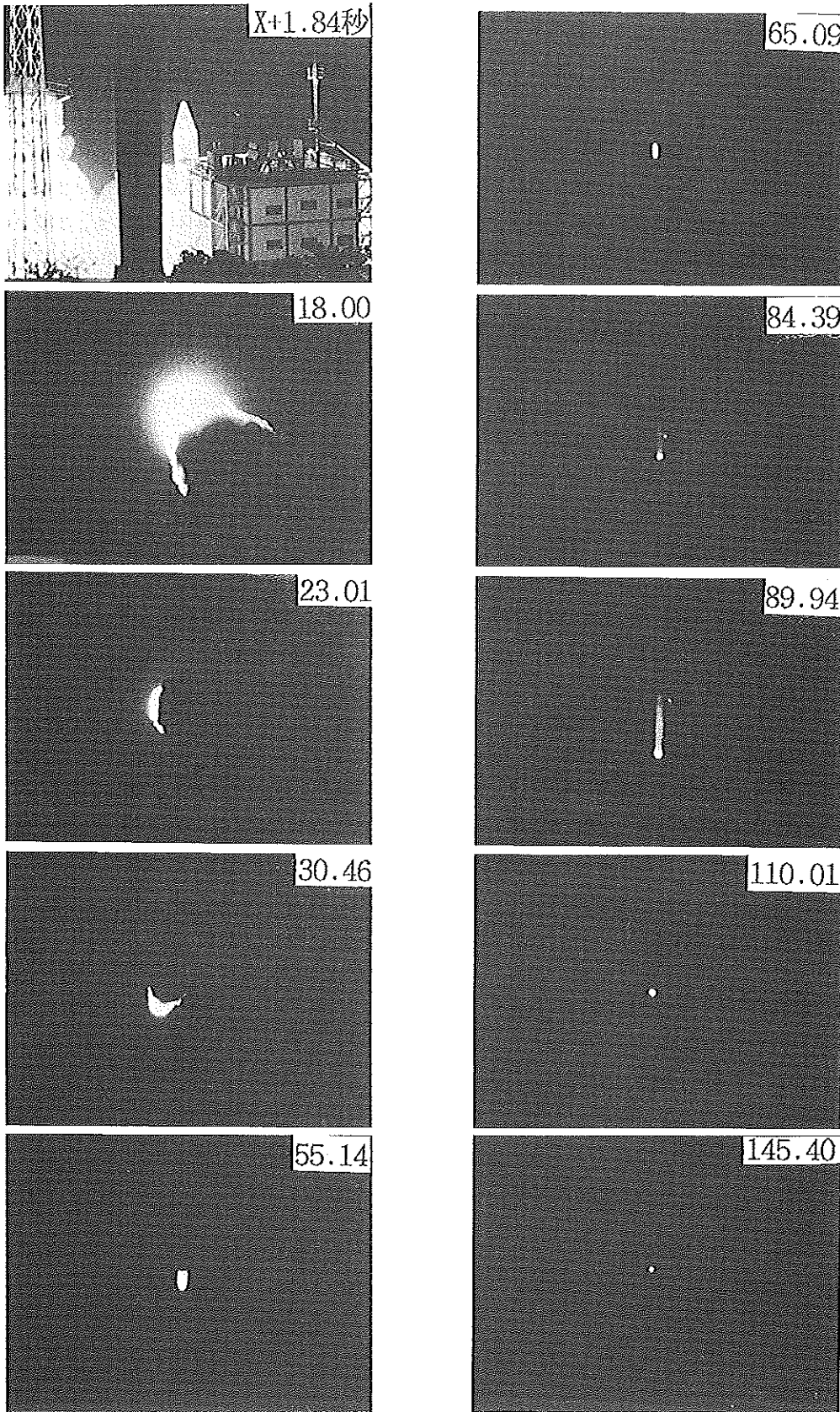


写真3 M-V-3号機 第1光学追跡



3-2 M-V-3号機の飛翔状況

M-V-3号機は、平成10年7月4日3時12分に上下角 83.3° 方位角 90.3° に設置され晴れの天候の中で打ち上げられた。

発射時の点火火焰がランチャ周辺の朝霧による滲みを伴い極めて眩しい発射状況であった。そして上空は晴れだが早朝の夜間の為、ランチャ離脱後は第1光学（写真3）・第3光学とも噴射中の火焰の輝点を辿り、良好に追跡を行った。1段目の燃焼状況と飛翔状況は正常でX+75秒で1段目分離と2段目点火（ファイア・インザホール）の現象が認められ、X+77秒以後に分離後の1段目ブースターが落下中の状況と、且つ2段目が順調に飛翔している様子を示す火焰の輝点の移動が明瞭に観察できた。第1光学および第3光学とも、2段目の燃焼終了をX+175秒に、確認した。次の3段目点火までは何も見えない。3段目の点火は、噴射中のノズル輝点の大きさも小さくなっているが、X+218秒に確認した。そして更に小さくなってゆく3段目ノズルの輝点を第1光学の追跡眼鏡ではX+333秒付近まで、第3光学でも追跡眼鏡でX+340秒まで確認した。積載TVカメラでは、第1光学ではX+321秒、第3光学ではX+325秒までの記録をした。又、それぞれの観測点の35mm長尺フィルムを用いる計測カメラでは、X+200秒およびX+205秒付近まで上述の状況を記録した。

3-3 M-V-4号機の飛翔状況

M-V-4号機は、平成12年2月10日10時30分に上下角 79.7° 方位角 93.7° に設置され無風晴れの天候の中で打ち上げられた。

第1光学では良好な追跡をしたが、追跡方向には残留噴煙が多く漂い残り、移動中の飛翔機体が隠される事が多かった。今回のロケットは、発射後、1段目の噴射流の周囲（ノズル周囲）に赤熱した推進破片と思われる細かい光った飛散物を、絶え間なく発生させながら上昇していった。飛散物の発生が、明らかに「多い」とわかる最初の時刻はX+12.7秒付近でありその後X+32秒付近に至るまで途切れとぎれに大量の発生が続いた。X+32秒付近以後は、スパイラル飛翔が伴い、機体が「すりこぎ運動」をしながら飛翔している様子も認められた。X+73秒付近以後、上空の残留煙に遮られ状況が判らなくなったが、X+88.5秒付近で分離後の1段目ブースター落下状況と2段目が正常に燃焼し飛翔中である状況を確認した。

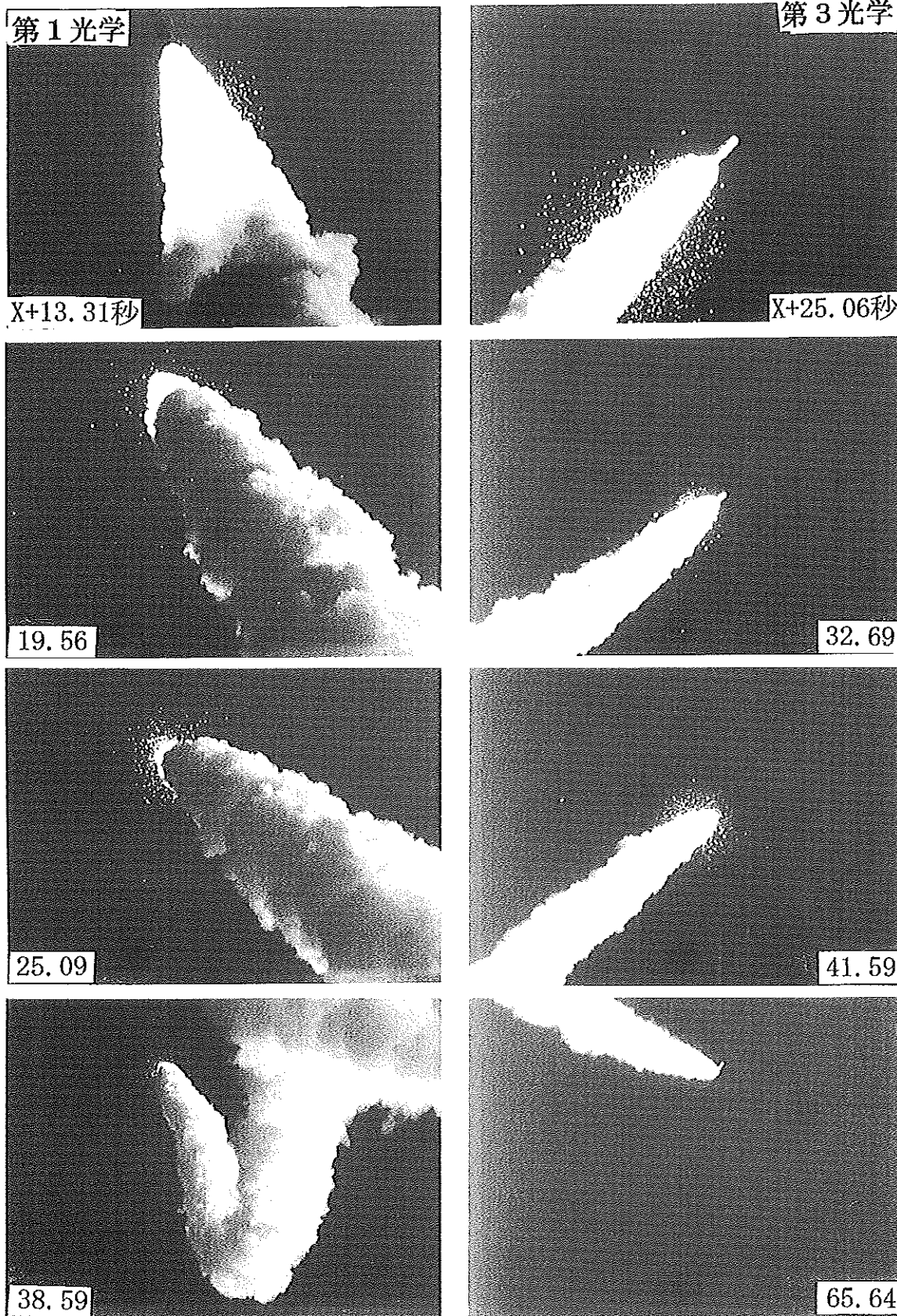
第3光学では、追跡架台をプログラム駆動して極めて良好な追跡を行った。飛翔中の噴射ノズル周辺から発生する破片飛散現象は、X+15秒付近から見え始めた。

飛翔中のノズルから特に激しく飛散物を発生させている状況は、X+25秒付近、X+37.5秒付近、X+41.5秒付近に顕著に認められた。またX+41.5秒付近以後からは、軌道にスパイラルを伴いX+45秒付近から頭下げの軌道になりX+57秒以後、「すりこぎ運動」を行いながらの飛翔状況が認められた。更にX+66秒付近では、大迎角状態で機体が飛翔している状況が認められた。

そしてX+66秒付近から機体姿勢が修正され、X+75秒で姿勢修正終了となって、その直後に1・2段分離と2段目点火（ファイア・インザホール）が行われた。

写真4では、M-V-4号機の1段目噴射中のノズル廻りの飛散物について第1光学および第3光学の追跡中に著しく飛散破片発生が多かったと思われるカットを駒焼きし並べて比較している状況を示している。

写真4 M-V-4号機 飛翔中のノズル廻り飛散物の状況



第1光学のその後の飛翔結果としては、X+100~146秒付近まで再び残留煙により視界を遮られたが、X+146~153秒付近およびX+163~175秒付近まで35mm撮影機およびTVカメラには、薄い煙を通して移動中のノズルの輝点が記録された。追跡眼鏡では、X+300秒まで輝点の飛翔を確認した。

第3光学におけるその後の飛翔結果も、2段目以後の飛翔状況は綺麗に（正常に）飛翔している様子を確認した。2段目燃焼終了、3段目点火および燃焼終了も、光学的に明瞭な状況で確認できた。35mm撮影機ではX+200秒までTVカメラではX+290秒まで記録した。

3-4 飛翔軌道解析結果

第2図は、M-V-1, 3, 4号機を追跡して発射点から収斂するまでの光学追跡角度（トラジェクトリー）を表しているが、この中で第1光学のM-V-1号機の追跡結果については不十分な追跡状態であったため併記していない。1号機および3号機についてはそれぞれの光軸が目標の90°方向へ向かい綺麗な曲線を描いているが、4号機については1, 3号機に比べて予定よりも長い時間、視認範囲にとどまっておき、特に1, 2段目分離後のX+75秒付近以後、収斂方向も90°~100°の間に変わって行く様子が分かる。第3図は、第1光学および第3光学追跡点の追跡角度データにより算出したX+40秒付近までの光学追跡結果であるが、1号機の結果については、第1光学のデータが不十分な為併記しなかった。表記の時間内では、3, 4号機とも類似の軌道となった。

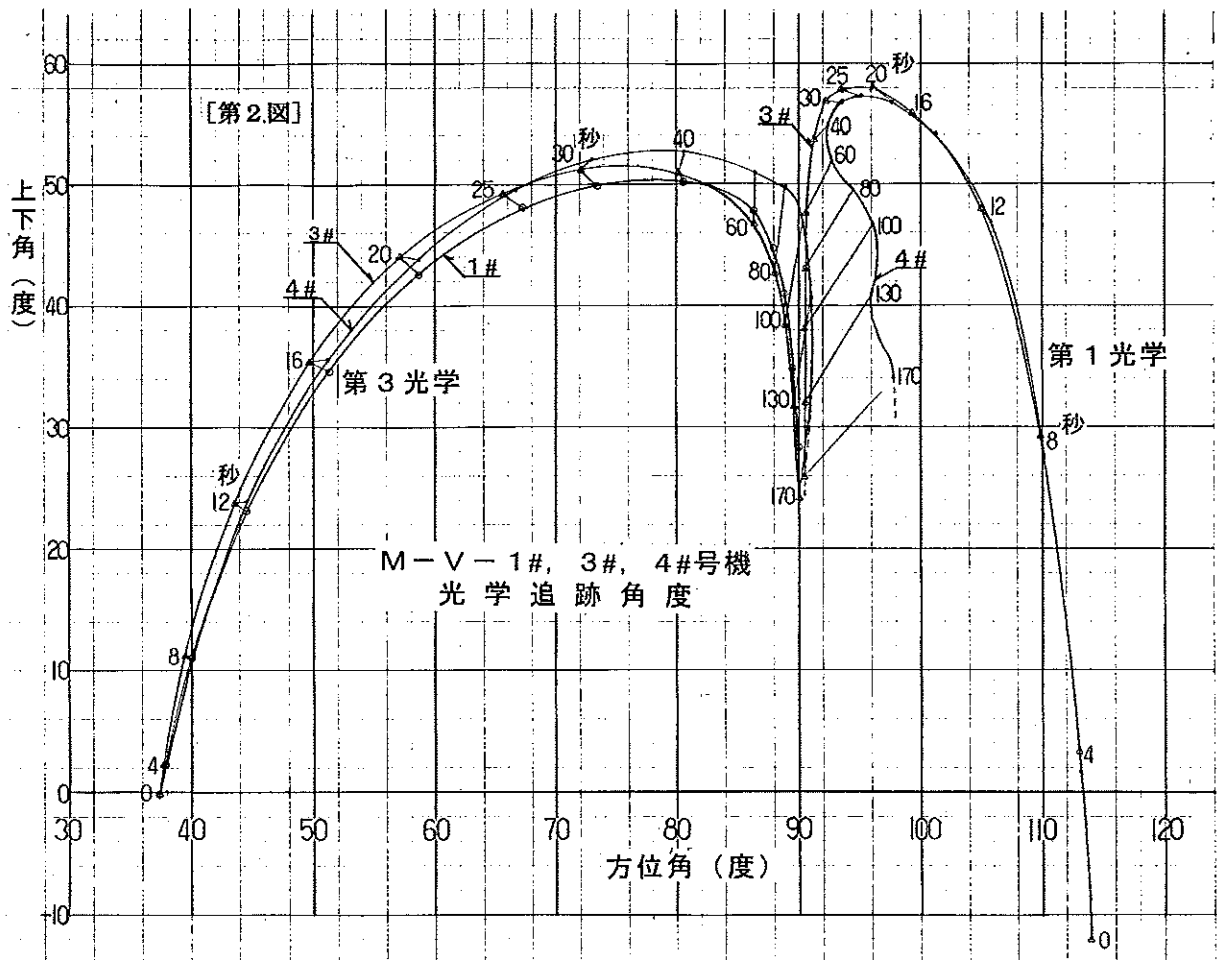


図2 M-V-1, 3, 4号機の光学追跡角度

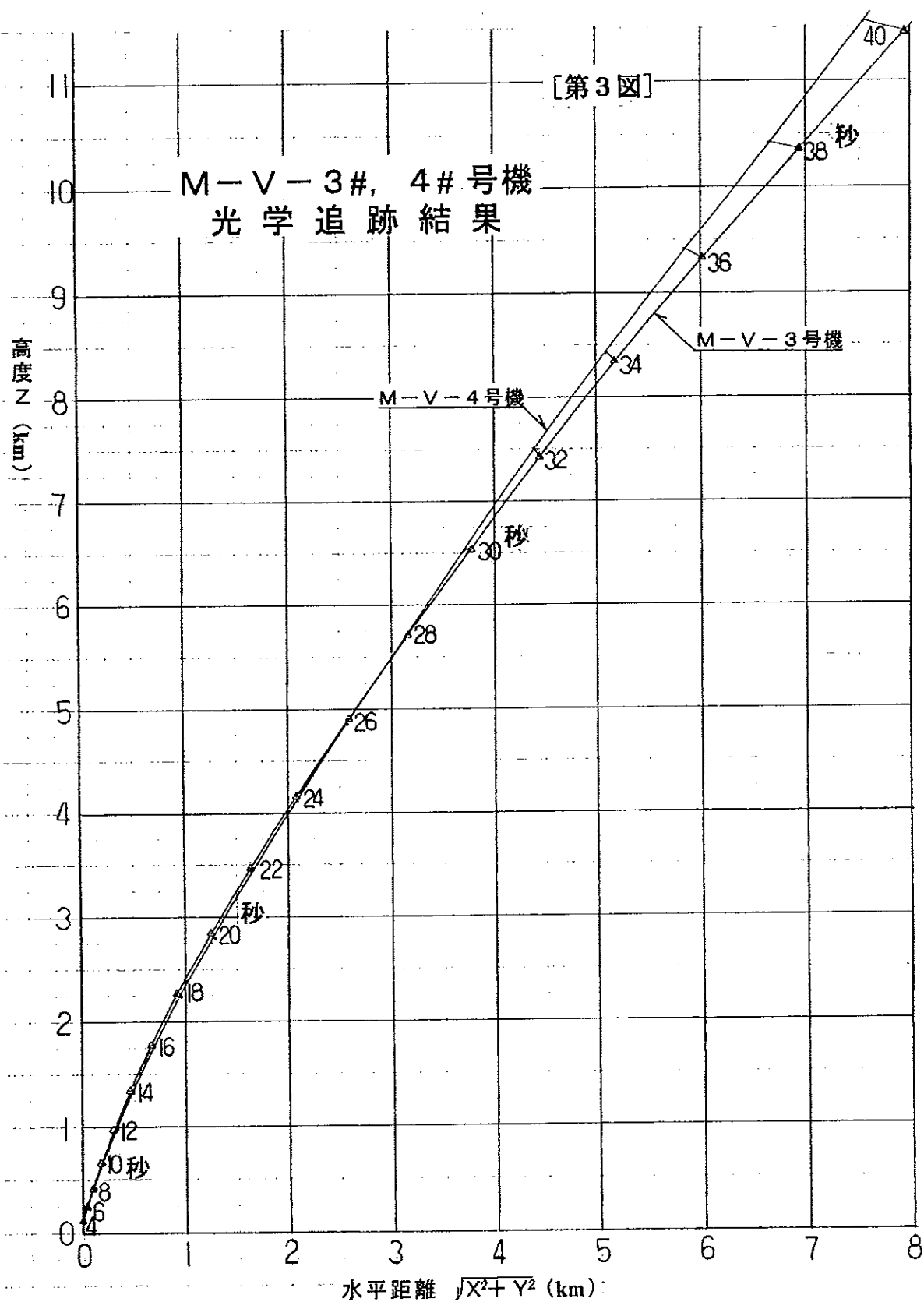


図3 M-V-3, 4号機 光学追跡結果

4. 終わりに

光学観測で長尺フィルムを用いてきた理由は、画質が良い為であったが、取り扱い上で手間が掛っていた。その一方で近年情報化の進む中で、急成長のビデオ技術に関しては、ほぼ数年ごとに性能機能向上があり、其れに伴う画質の向上と撮影の機能化・自動化された機器が多く出現している。解像度などの点でフィルムに比べもう一歩と言う所もあるが、画像がデジタル化されてきた為、画像処理中の画質劣化が少なくCD-R、MOまたはHD等の電子媒体に保存でき、処理機器にパソコンなどが使える方向になり、取り扱いが便利になってきた。以前のアナログ方式と比べて種々の点で高機能化されて画質においても相当な高品位化がなされてきており、画像の評価に関してもフィルムより有利になってきた部分が多く見受けられる。

このような状況の中で飛翔ロケットを追跡記録するためにビデオ機器を用いることは、打ち上げ前の準備が正確に素早く行え、複数台の高機能・小型軽量のTVカメラを用いる事で情報量が多くなり、カメラ本体については比較的廉価であるため、観測機器として年々、新機能・性能のものを台数を増やし導入して用いるべき装置であると考えられる。また当然、積載マウントも新規に検討する必要があると考えられる。

尚、今までのフィルム使用に関しては、特にそれ自体をビデオ作業に比べると次の点で手間・暇および取り扱い等に気配りをする必要がある。

[A.] 電子的記録媒体に比べ単価が高く、カメラ装填の際に暗室等の設備が必要で、化学的記録媒体であるため気温湿度などの周囲の環境に影響されやすく、使用期限が遅くなると特性が劣化してくる為、冷蔵庫等を用いた定温保管が必要で、その管理も気配りが必要である。

[B.] 使用時には、二重記録が出来ないため新品を一発必中で使わなければならない。

[C.] 撮影後の現像関係処理に掛かる時間は、おおざっぱに扱くと最低2日掛かる。この場合は写っていない部分もすべて現像プリント処理およびビデオ変換処理が必要なため金額が高くなる。必要な記録部分のみを抜き出し処理する場合は、途中の確認の日程を含めて約1週間が必要で、土・日曜日が入るため凡そ10日程度の処理期間となる。

[D.] 処理後のプリントフィルムで、記録された現象の状況判断と解析を行うが、専用のフィルム解析装置を使う為、また周囲を暗室状態にして扱うため、ビデオ画像のモニターを使うような簡便さはない。

・・・等々の状況で、電子的媒体の扱いに比べリアルタイム性が低く、現時点では、この点が改善されるとは考えられない。またビデオ記録方式が発展し簡便になるに従い、フィルム処理機器については新機能のものが出現せず、産業的にもカメラを除くフィルム関係装置（フィルム解析装置など）の生産・新規開発が滞って来ている様子がある。

その為、現有の装置などが故障の場合は部品の交換のみの対応しか望めず、現有装置が壊れないように維持してゆくことが、大事なことと成りつつある。

以上から、今後の光学観測において“はじめに”の項で述べたように小型高性能のTVカメラを効果的に使う事、および其れによる記録結果を処理する方式を検討することが、今後必要と思われる。