

レーダによるロケット航跡標定結果

レーダ研究班

序

前報¹⁾以後現在まですなわち昭和34年11月より昭和36年7月に到る期間に、道川実験場において打ち上げられたカッパロケットの航跡のレーダによる標定結果を取りまとめて報告する。この期間に打ち上げられたロケットの中、レーダ・トランスポンダを搭載し実験の一部として航跡標定を含んでいたものは12機であった。本文の標定結果はこれらに関するものである。

標定方法

カッパロケット用レーダの方式および構造などについてはすでに本誌に紹介されているから²⁾、ここでは概要の記述にとどめる。航跡の標定は道川本部に設置された地上設備とロケットに搭載されたトランスポンダによって行なわれた。地上設備には、地上送信機、自動追尾バ

ラボラ空中線による自動方探装置、測距装置が含まれ、地上送信機から送信されたパルスがロケット搭載のトランスポンダ受信部によって受信されると直ちに同送信部よりパルスが返信される。この返信パルスは地上の自動方探装置および測距装置のそれぞれに付属する受信機によって受信され、その到来方向とパルスの往復に要した時間が刻々に測定される。これらから地上局に対するロケット位置の仰角、方位角とロケット・地上局間の直距離が求められロケットの航跡が算定される。

ロケットの大型化につれて遠距離におけるロケットの航跡標定の必要上、レーダの標定範囲拡大のための機器の改造補充が行なわれた。すなわち地上設備においては4素子ヘリカルアンテナを送信アンテナ、測距用受信アンテナに使用することによる電波の到達距離の延長、パルスの繰返し周波数の半減による標定可能範囲の拡大、また地上受信機の低雑音化による感度の改善³⁾が行なわ

第1表 K-7よりK-8-7にいたるロケットの航跡標定結果概要

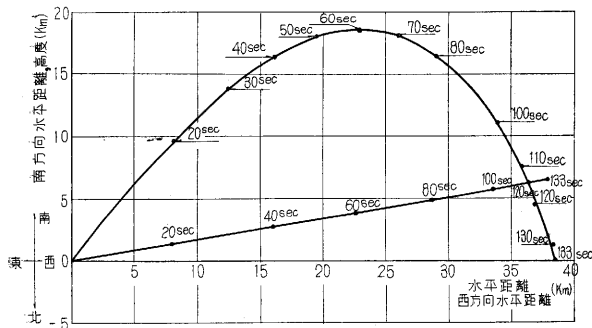
ロケット名称 カッパ型、号	打上げ日時 年月日 時分	地上風 方向 風速 m/sec	発射仰角 °	パラボラ待受角 (方位角)	航跡標定結果概要						標定装置備考
					頂点*			着水点*		標定結果摘要	
					時間 sec	高度 km	水平距離 km	時間 sec	水平距離 km		
K-7	34.11.18 14.03		80	76	—	—	—	—	—	○発射直後に地上受信レベル激減 10sec 以後異常飛しようの模様	
K-8-D	35.3.28 15.33	SW 6	65	56	60	18.5	22.9	133	38.4	○1次レーダ受信機により8km まで測距可能	○測距用1次レーダ受信機、測距用 2次レーダ低雑音受信機を併用
K-8-1	35.7.11 13.24	NW 3	73	56		(150)		(400)		○35.7sec 以後トランスポンダ送 信停止 ○方探はサイド・ロープにて追尾	○同上 ○今回以降4素子ヘリカルアンテナ を地上送信用に使用
K-8-2	35.7.17 13.11	NW 4	78	68	208	183	171	415	343	○標定正常	○同上
K-6-18	35.9.17 11.50	N 2	80	77°	103	46.0	28.2	228	56.3	○標定正常	○発音弾射出時刻測定のため符号弁 別器を使用 ○今回以降パルスの繰返し周波数を 250サイクルに改造
K-8-3	35.9.22 15.32	— 0	80	70	224	187	135	440	270	○125sec、165sec にて段階的に地上 受信レベル減少 400sec 付近 で回復	○測距用2次レーダ低雑音受信機を 併用
K-8-4	35.9.26 20.25	SE 3	78	73	221	183	135	433	269	○230sec にて地上受信レベル減 少、400sec 付近で回復	○同上
K-6H-1	35.9.29 11.46	NE 2	78	75	128	68.5	44.0	270.5	88	○標定正常	○発音弾射出時刻測定のため符号弁 別器を使用
K-8-5	36.3.17 13.08	— 0	79	71	214	171	127	411.8	253	○標定正常	○測距用2次レーダ補助受信機を併 用 ○今回以降4素子ヘリカルアンテナ を測距用2次レーダ受信機にも使 用するとともに低雑音増幅器を前 置使用した測距記録装置を420 sec まで延長
K-9L-1	34.4.1 12.25	WSW 4	80	73 (S2°)		(310)		(600)		○39.5sec 以後第2ブースタ・ト ランスポンダ送信停止、60sec 以後メインロケットを追尾 ○520sec にて地上受信レベル減 少のため受信不能	○同上 ○メインロケット追尾用装置使用
K-8-6	36.4.18 21.19	WNW 9	80	70	195	144	159	375.5	320	○標定正常	○同上
K-8-7	36.7.21 11.42	SSE 2	80	71	207	159	137	412.0	276	○標定正常	○自動方探用受信機にも低雑音増幅 器を前置使用

* 括弧内の数字は推定値

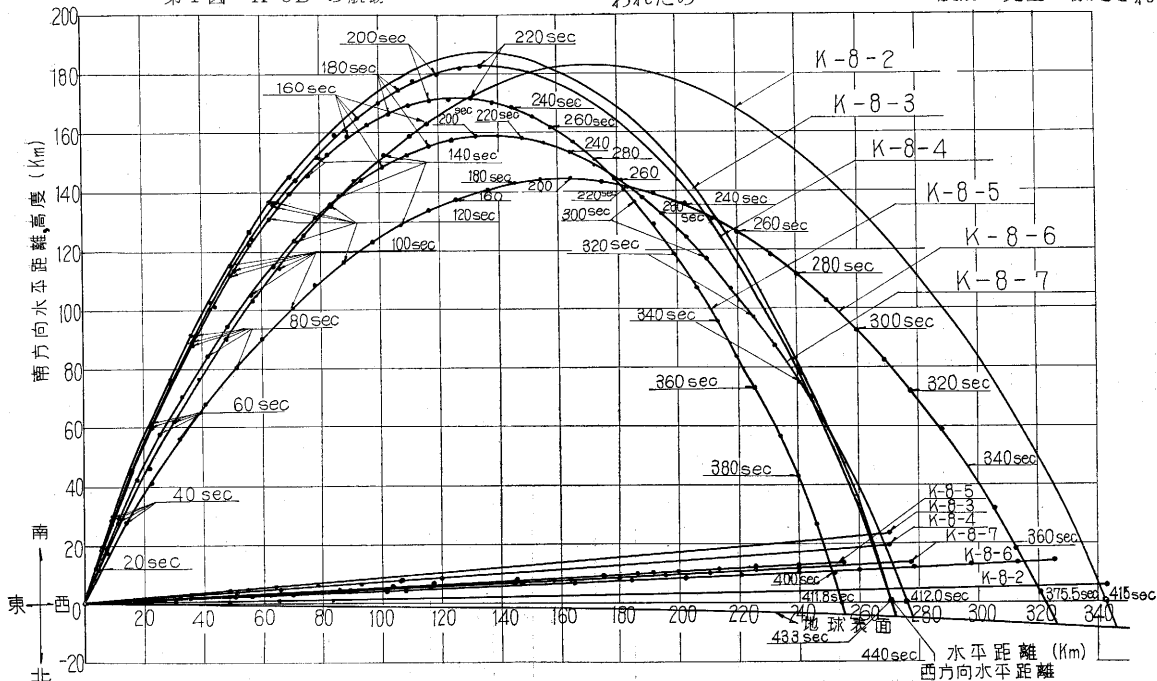
第 2 表 K-7, K8D の航跡

時間 sec	K-7		K-8D	
	直距離 km	高度 km	水平距離 km	方位角 °*
0	0.0	0.0	0.0	—
5	2.2			
10	5.3			
20		9.6	8.1	S 9.4
30		13.8	12.4	S 9.5
40		16.4	16.1	S 9.7
50		18.0	19.5	S 9.9
60		18.5	22.9	S 9.8
70		18.1	26.0	S 10.2
80		16.5	29.1	S 9.9
90				
100		11.1	34.1	S 10.0
110		7.5	35.8	S 10.0
120		4.5	36.8	S 10.5
130		1.2	38.3	S 10.2
着水点 (括弧内 は時刻)	—	0	38.4	S 10.5 (133 sec)

* S 5.0 は発射方向よりも南へ 5.0° の方位にロケットが位置したことを示す。



第 1 図 K-8D の航跡



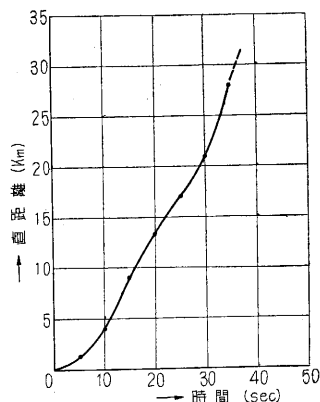
第 3 図 K-8 型ロケットの航跡

れた。トランスポンダにおいては、気密外圍器の改良による高空における絶縁破壊の防止と、受信感度と送信電力の向上がはかられ成果が得られた。ロケットの打上げ実験においては補助測距受信機なども併用してデータの遺漏を防止した。

航跡標定結果

レーダによって航跡標定が行なわれたロケットの名称などと標定結果の概要は第 1 表の通りであった。ロケットは真西 (磁気西より北へ 4°) へ向かって発射され、イグナイタ点火スイッチ投入の時を発射時点 (時間 = 0 秒) とした。表中の発射仰角はランチャー仰角を示し、着水点は水平線方向においてトランスポンダの電波が途絶した時刻および水平距離を示す。

「K-7 および K-8D」の航跡標定結果は第 2 表、第 1 図の通りであった。図中の拋物線状図形は垂直面内における航跡 (水平距離—高度) を、直線状図形は水平面内における航跡 (西方向水平距離—南方向水平距離) を示し、測定点はデータの写真記録結果から定められたものである。K-7 については 10 秒まで正常な直距離測定が行なわれたのみであったが K-8D の航跡は完全に標定され



第 2 図 K-8-1 の時刻—直距離曲線

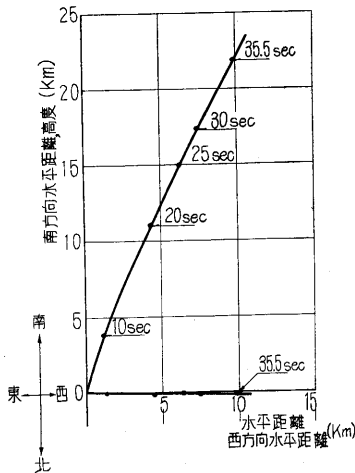
第3表 (a) カップ8型ロケットの航跡

時間 (sec)	K-8-2		K-8-3		K-8-4		K-8-5		K-8-6		K-8-7	
	高度 km	水平距離 km	高度 km	水平距離 km	高度 km	水平距離 km	高度 km	水平距離 km	高度 km	水平距離 km	高度 km	水平距離 km
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10					3.7	1.0						
20	12.3	4.3	11.8	3.3	12.0	3.3	12.2	3.2	11.5	4.7	11.8	3.9
30	18.6	7.0	18.5	5.2	18.3	5.4	18.7	5.1	17.3	7.6	17.9	6.2
40	30.0	12.5	28.7	8.9	27.8	8.8	29.7	8.6	27.1	13.2	27.2	10.5
50	46.3	21.4	45.5	15.5	44.6	15.7	46.0	16.0	41.3	22.6	42.4	17.9
60	62.3	30.0	61.6	22.1	60.3	22.6	60.7	22.6	55.2	31.9	56.9	25.7
70	76.8	38.7	76.3	29.0	75.1	29.0	74.9	29.0	67.7	41.1	70.2	33.0
80	90.6	47.7	91.3	36.6	88.8	36.6	88.0	35.6	79.4	50.4	82.7	40.9
90	103.3	56.5	103.0	42.7	101.3	43.5	100.2	42.3	90.0	59.8	94.2	48.4
100	114.2	65.7	115.5	49.3	114.0	50.8	111.3	48.8	99.7	69.3	105.0	56.0
110	125.6	73.8	126.7	55.8	124.5	56.2	122.6	55.9	108.9	77.7	114.4	63.6
120	135.2	83.7	136.1	63.5	135.0	64.3	130.7	62.3	116.2	87.6	123.2	71.2
130	143.9	92.0	145.6	69.4	143.4	71.6	139.0	69.3	122.6	97.5	131.0	78.7
140	152.3	101.0			151.8	78.4	145.1	75.9	128.1	107.5	137.8	86.1
150	159.0	110.0			159.0	85.0	152.9	82.4	133.6	116.1	143.8	93.7
160	162.3	116.5			165.0	92.4	158.6	89.3	137.3	125.8	148.7	101.6
170					170.5	99.3	163.0	96.0	140.3	135.6	152.4	109.1
180					174.5	106.5	166.4	103.2	143.0	144.5	155.5	116.4
190					177.3	111.5	169.2	109.9	144.2	154.1	157.1	124.2
200					180.0	119.0	170.8	117.0	143.6	164.0	158.6	132.3
210					182.0	127.2	171.6	123.8	143.2	173.6	159.0	139.8
220					182.5	134.0	171.3	131.0	141.1	183.2	158.4	147.3
230							170.4	137.5	139.4	192.1	156.8	155.0
240							168.3	144.3	135.2	201.9	153.2	163.9
250							166.6	150.0	129.8	211.8	149.0	172.1
260							161.8	157.9	125.7	221.1	143.9	179.8
270							156.9	164.8	118.1	230.7	138.6	187.4
280							150.6	172.7	111.4	239.9	132.2	195.3
290							143.9	178.9	102.4	249.6	124.4	202.9
300							136.3	185.6	92.4	259.4	116.4	210.1
310							128.5	192.6	82.2	268.8	107.0	217.8
320							118.6	199.0	71.4	278.0	97.4	225.2
330							107.3	206.2	58.5	287.6	87.6	232.3
340							95.8	213.2	46.0	296.9	75.1	239.7
350							83.1	220.0	32.1	305.7	64.0	247.3
360							72.5	225.7	18.6	313.3		
370							56.4	233.0	8.3	318.3		
380							43.1	239.7				
390							27.1	245.9				
400							9.7	251.0				
410							4.4	252.7				
420												
430												
440												
着水点 括弧内は時刻	0 (412 sec)	342.5	0 (440 sec)	270	0 (433 sec)	269	3.1 (411.8 sec)	252.8	3.9 (375.5 sec)	319.5	0.0 (412 sec)	276

第3表 (b) カップ8型ロケットの航跡

時間 (sec)	方位角 * degree					
	K-8-2	K-8-3	K-8-4	K-8-5	K-8-6	K-8-7
0	—	—	—	—	—	—
20	S0.5	S6.3	S3.7	S1.2	S1.0	S5.2
50	S0.5	S6.2	S3.7	S2.5	S2.0	S3.7
100	S1.0	S6.1	S3.8	S3.2	S2.1	S3.3
150	S1.0	S6.0	S3.8	S3.2	S2.2	S3.2
200			S3.8	S3.2	S2.2	S2.9
250				S3.1	S2.3	S2.9
300				S3.1	S2.4	S2.8
350				S3.0	S2.5	S3.0
400				S3.0		

* S5.0 は発射方向よりも南へ 5.0° の方位にロケットが位置したことを示す。

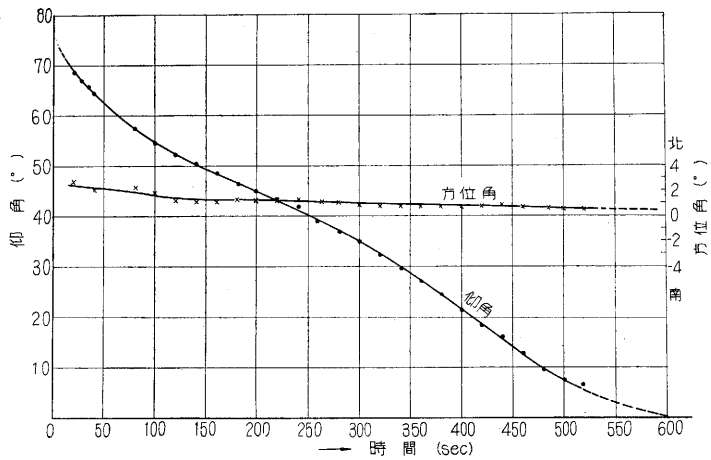


第 4 図 K-9L-1 の航跡

第 4 表 K-6-18, K-6H-1 の航跡

時 間 sec	K-6-18			K-6H-1		
	高度 km	水平距離 km	方位角 °	高度 km	水平距離 km	方位角 °
0	0.0	0.0	—	0.0	0.0	—
10				4.6	1.3	
20	10.8	3.3	N11.0	10.4	2.9	N 5.3
30	20.2	7.0	N11.0	21.6	7.2	N 7.3
40	27.4	10.5	N10.6	31.1	10.9	N 8.5
50	33.2	13.2	N10.6	39.3	14.8	N 9.0
60	3.75	16.2	N10.5	46.0	18.7	N 9.5
70	41.0	19.1	N10.5	52.1	22.5	N 9.5
80	43.8	21.9	N11.0	57.2	26.4	N 9.6
90	45.6	24.1	N10.8	61.4	30.0	N 9.7
100	46.0	27.1	N10.5	64.7	33.7	N 9.8
110	45.6	30.3	N10.2	66.6	37.5	N10.0
120	44.0	33.7	N10.5	68.0	41.2	N10.0
130	41.6	36.6	N10.3	68.3	45.0	N10.2
140	38.4	39.6	N10.3	67.5	49.0	N10.3
150				66.0	52.7	N10.5
160				63.2	56.6	N10.3
170				59.3	60.7	N10.0
180				55.0	64.4	N10.1
190				49.7	68.3	N10.2
200				43.4	71.8	N10.1
210				36.3	75.4	N10.0
220				29.8	78.9	N10.0
230				22.0	82.4	N10.0
240				11.9	85.5	N10.0
着水点 括弧内は時間	0	56.3	N10.5 (228 sec)	0	88.0	N10.0 (275 sec)
発音弾爆発点 括弧内は時間	24.4	8.8	N11.0 (35.7 sec)	18.8	6.1	N 5.3 (27.2 sec)
	28.8	11.0	N11.0 (42.4 sec)	30.4	11.0	N 7.3 (40.3 sec)
	32.6	13.0	N10.9 (49.5 sec)	43.0	17.0	N 8.6 (55.4 sec)
	36.5	15.4	N10.9 (57.6 sec)	53.8	23.6	N 9.2 (72.9 sec)
	40.1	18.2	N10.6 (67.8 sec)			
	45.0	31.4	N10.6 (113.9 sec)			

* N5.0 は発射方向よりも北へ 5.0° の方位にロケットが位置したことを示す。



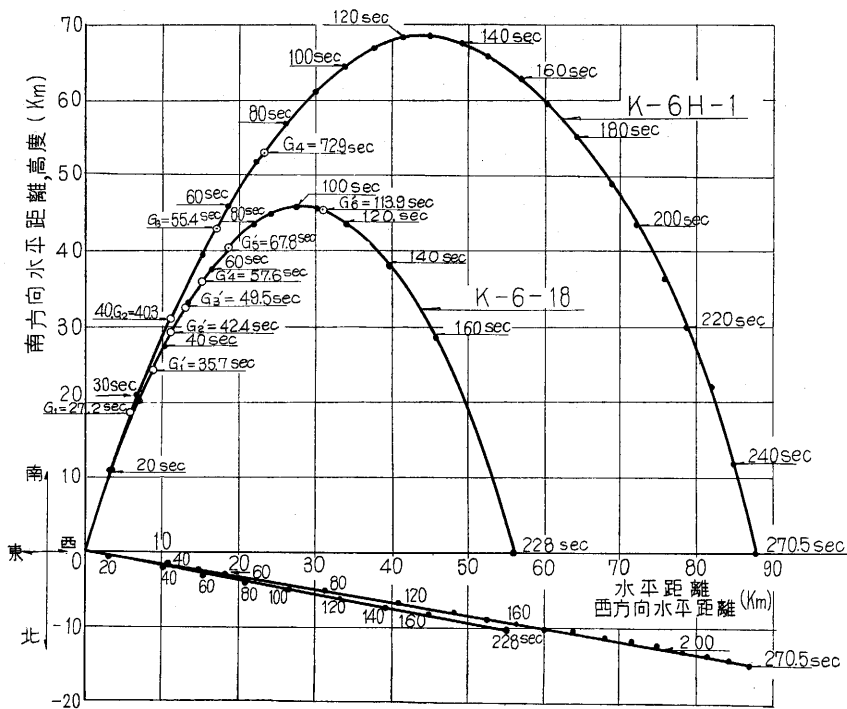
第 5 図 K-9L-1 の時間—仰角・方位角曲線

た. K-8 型ロケットの航跡標定結果は第 3 表(a), (b), 第 2 図, 第 3 図の通りであった. K-8-1 のトランスポンダは 35.7 秒で送信停止し, それまでの測定データは第 2 図に示される. 第 1 表の頂点, 着水点はこのデータから推定したものである. 第 3 表, 第 3 図は K-8-2 より K-8-7 に到る 8 型ロケットの航跡標定結果を示し, 第 3 図は第 1 図と同様, 垂直, 水平両面内の航跡を表わす. K-8 型ロケットにおいては水面落下直前の 4~9 km が地球の蔭に隠れる. K-8-5 以前の記録は装置その他の関係により不完全を免れなかったが, トランスポンダの返信パルスはいずれにおいても着水点まで受信され, 標定結果は満足すべきものであった. 標定上の主要問題については第 1 表に略記した.

K-9L-1 の航跡標定データは第 4 図, 第 5 図の通りであった. 第 2 ブースタ搭載のトランスポンダは 39.5 秒で送信停止し, 以後方探装置はメイン・ロケットを追尾した. 第 1 表中の頂点, 着水点は第 5 図と計算航跡曲線との比較によって推定されたものである. K-6-18 および K-6H の航跡標定結果は第 4 表, 第 6 図の通りであった. 第 6 図は第 1 図と同様垂直・水平両面内の航跡を示し, 発音弾射出時刻測定のため符号弁別器^りが使用された.

結 び

昭和 34 年 11 月より昭和 36 年 7 月に到る期間に打ち上げられた, カップロケットの航跡標定結果を報告した. ロケット航跡標定用レーダは, 初期の困難に満ちた時期を過ぎて信頼性がいちじるしく向上し, 8 型ロケットの一連の実験結果から, その標定能力は 400 km を超えることが立証された. アンテナ系の改良の結果測定精度も向上し, カップ 8 型ロケットの航跡標定結果からは高空における重力の変化, 空気層再突入の際の所要時間などを読み取ることも可能となったが, なおいっそう角度誤差の減少が望まれている. (1961年 8 月 5 日受理)



第6図 K-6-18, K-6H-1 の航跡

文 献

- 1) レーダ研究班: カップ6型ロケット航跡標定結果, 生産研究, 11巻8号, pp. 355-359, 1959年8月
- 2) 高木・野村: カップロケットのエレクトロニクス, 生産研究, 12巻12号, pp. 490~498, 1960年12月
- 3) 斎藤・浜崎: レーダ用低雑音増幅器, 生産研究, 12巻12号, pp. 514~516, 1960年12月
- 4) 倉茂・瓜本: 150型レーダ・トランスポンダ, 生産研究, 11巻8号, pp. 351~354, 1959年8月

(141 ページよりつづく)

7月16日: 8型7号機ロケット実験場到着, 実験場内放送設備チェック。

7月17日: 午前ロケット開梱, 午後全員打合せ会, 実験の説明(主任)・各班の準備状況報告・明日リハーサルを行なうこと等打ち合わせる。タイムスケジュール案の作成。

7月18日: 午前チーフ会議。本日のリハーサルのタイムスケジュール・開頭テストの時間等協議する。午後計器の衝撃試験(40g), リハーサル, 計器とテレメータのかみ合せを行なう。

7月19日: チーフ会議を開き各班の準備進行状態をチェックし明20日に飛しょうを行なうむねの告示を出すことにする。計器の衝撃テスト(40g)。

7月20日: 8型7号機飛しょう予定日, スケジュール進行中, 計器の調子が悪くなったので実験は一時ストップしチーフ会議の結果明日に延期することになる。

7月21日: 8型7号機飛しょう。11時42分発射, 発射角度 80°, 地上風南々東 2m/s, 気温 32.5°C, 気圧 1010 mb, 天候晴。

実験結果: テレメータ, レーダ, ドプラーレーダは正常に作動した。レーダ観測によれば最高高度は約 160 km, 飛しょう時間は 410 秒であった。電離層観測は発射後 75.6 秒で頭部開頭以後イオン密度・電子密度および電子温度の測定が行なわれた。発音弾は予定秒時に8発とも作動し受音班はマイクロフォンで到来音波を記録し高度 75 km までの気温・風の観測を行なった。またロケットに搭載した発光検出器は発音弾の爆発を全部検出し地上の赤外線検出器の作動も良好であった。

概 括: はじめての電離層および気温・風の同時観測であり, 発音弾射出の際の衝撃に対して, 他の計器も異常なく作動することがわかった。

以上で1959年3月以降, 1961年7月までの実験記録は終わるが, 紙面の都合で概略を記載するに止めた。詳細記録は東京大学生産技術研究所系川研究室に保存してある。なおロケットの諸元および搭載計器を第1表に示す。

(1961年9月11日受理)