

# レーダによるロケット航跡標定結果

(レーダ研究班)

高木 昇・斎藤成文・長谷部 望・亀尾要道・市川 満・関口 豊・倉茂周芳

## 1. 序

ここに記述するレーダ航跡標定結果は前報以後現在まで、すなわち昭和 36 年 7 月より昭和 37 年 12 月に至る期間に、道川実験場および鹿児島宇宙空間観測所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まとめて報告する。

## 2. 標定方法および地上設備の変更について

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ので、ここではその後の改良と、補充機器の概要のみを記述する。

航跡標定結果は 37 年 5 月まですなわち K-8-10 号機までは秋田県道川実験場において、37 年 8 月よりすなわち K-8L-1 号機以後 K-8-11 号機までは鹿児島宇宙空間観測所において実験されたものである。鹿児島実験場は道川実験場に比し、地形的考慮が必要なため、以下に示すような補正計算をしなければならない。道川実験場の場合はほとんど無視できた。

$$\begin{cases} x = x_0 - r_0 \sin \delta \\ y = r_0 \cos \delta - y_0 \\ z = r_0 \sin \theta + z_0 \end{cases}$$

ここで、 $r_0 = 0.3 \text{ km}$   $\delta = 78^\circ 49'$

$$x_0 = r_0 \sin \delta = 0.29 \text{ km}$$

$$y_0 = r_0 \cos \delta = 0.06 \text{ km} \quad z_0 = 0.3 \text{ km}$$

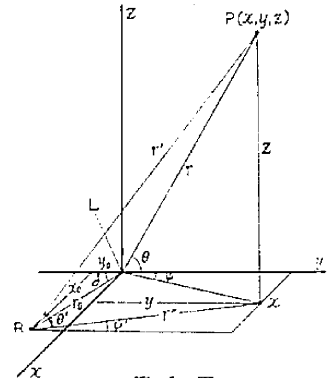
$$r' = \text{レーダ直距離 km} \quad r'' = r' \cos \theta'$$

R: レーダ点, L: ランチャ点

なおランチャ点とレーダ点の高低差は無視。

上式にレーダ点に対するロケット位置の仰角、方位角とロケット、レーダ点間の直距離をおのおのの記録紙より読み出し、おのおのの数値を代入してロケットの航跡を算出する。

ロケットの大型化につれて遠距離におけるロケット航跡標



第 1 図

定の必要上、レーダの標定範囲拡大のため種々の改良とあらたにレーダ地上設備が加えられた。

従来のレーダ装置にあらたに自動追尾測距装置を補充した。これは測距距離の拡大と測距自動化が行なわれたものである。従来のものは約 400 km であったものを約 600 km まで測距追跡を可能にした。また前者(従来のものは記録用に 8 ミリカメラを使用する関係上、時間的に最大 430~440 秒に制限されるので、それ以上の航跡は正確には求められない欠点があったが、後者は記録器によりチャートに書き出すためこの欠点を除かれた。

第 1 表 K-8-8 より K-8-11 号機に至るロケットの航跡標定結果概要

ロケット 名称 カッパ 号	打上げ 日時 年月日 時 分	地上風 方向 風速 m/sec 天候	発射仰角 度	パラボラ 待受角 (度) [方位待 受角 (度)]	航跡標定結果概要				備 考	
					頂 点			着 水 点		
					時間 sec	高 度 km	水平距離 km	時間 sec		水平距離 km
K-8-8	36.10.24 12.59	N4* くもり	81	73	230	198.0	143.9	435	288.4	道川 全装置正常
K-8-9	36.10.30 20.13	SE4 晴	80	72	216	174.6	102.4	407	207	道川 8 ミリカメラ故障 トランスポンダ正常
K-9L-2	36.12.26 14.50	NNW5 くもり	80	70	310	347.6	331.0	581.4	625	道川 GMD1 と 4mφ 新型レーダ 同時追跡
K-8-10	37.5.24 19.05	—	81	73	—	—	—	—	—	道川 正常飛行しよせず
K-8L-1	37.8.23 16.15	0 晴	80	$\begin{matrix} 76 \\ \text{NよりCW} \\ 129 \end{matrix}$	203	172.3	82.0	—	(152)*	鹿児島 発射方向NよりCW 132°39' 270secにてトランス ポンダ電波途絶
K-9M-1	37.11.25 11.01	NNW くもり	78	$\begin{matrix} 73 \\ \text{NよりCW} \\ 123.5 \end{matrix}$	115	56.0	26.0	229	52.7	鹿児島 発射方向NよりCW 125°30'
K-8-11	37.12.18 14.03	W1 晴	79	$\begin{matrix} 74 \\ \text{NよりCW} \\ 138 \end{matrix}$	231	202.1	120.0	443	248.0	鹿児島 発射方向NよりCW 150°

\* ( ) 内の数値は推定値を示す。

\* N4 は北の風 4 m/sec を示す。

第2表 カップロケットの航跡 ( )内はトランスポンダ電波途絶秒時を示す

時間 sec	K-8-8		K-8-9		K-8L-1		K-9M-1		K-8-11	
	高 km	度 水平距離 km	高 km	度 水平距離 km	高 km	度 水平距離 km	高 km	度 水平距離 km	高 km	度 水平距離 km
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	—	—	—	—	6.6	1.7	—	—	—	—
20	12.8	3.4	12.3	2.6	14.8	3.5	12.9	3.3	12.6	3.0
30	19.0	5.4	18.7	4.1	34.0	7.9	21.8	5.9	19.9	5.0
40	30.4	9.5	28.4	7.1	51.7	13.0	29.3	8.3	32.9	9.1
50	47.7	16.2	44.5	12.3	66.3	17.4	36.1	10.5	50.0	14.9
60	63.8	23.2	60.0	17.6	80.1	21.6	41.5	12.8	66.7	21.0
70	79.5	30.4	74.2	22.7	93.0	25.8	46.6	15.5	86.8	26.4
80	95.0	37.8	87.6	27.9	104.5	30.0	50.0	17.7	96.4	32.2
90	107.4	44.3	99.7	33.7	115.3	34.2	53.0	20.4	109.8	37.5
100	120.0	51.2	110.9	39.1	125.1	38.7	54.7	22.7	122.9	43.2
110	131.8	58.4	121.5	44.2	133.8	43.0	55.4	24.7	134.4	48.1
120	142.1	65.4	131.0	50.0	141.7	47.2	55.4	27.0	145.0	53.8
130	152.1	71.9	139.6	55.0	148.8	51.8	54.5	29.6	155.1	59.5
140	160.8	79.1	147.0	60.9	154.7	56.0	52.5	32.2	164.0	65.2
150	169.1	86.2	153.7	66.2	160.5	59.1	49.6	34.6	172.0	72.0
160	175.9	93.1	159.2	71.9	164.3	64.7	45.4	37.2	179.0	77.8
170	181.7	100.3	163.9	76.8	167.5	68.7	41.1	39.5	184.6	84.0
180	186.5	108.1	167.9	82.6	169.8	72.4	35.2	41.9	190.0	90.0
190	190.3	115.0	171.2	87.2	171.6	76.4	30.0	43.7	194.3	96.3
200	193.9	122.1	172.8	93.5	172.1	80.3	22.7	46.4	197.5	101.1
210	196.3	129.4	174.2	99.4	172.1	84.3	15.0	48.7	199.6	107.4
220	197.9	136.5	174.5	104.3	170.9	88.6	0	52.7	201.2	113.8
230	198.0	143.9	173.5	110.5	169.0	92.2			202.1	119.5
240	197.3	151.4	171.5	116.1	166.0	96.2			201.3	125.7
250	196.3	158.4	169.9	121.6	161.7	100.6			200.0	132.5
260	193.2	166.2	165.6	127.1	156.8	104.6			198.2	137.7
270	190.1	173.0	159.7	134.0	151.1	108.5			195.0	143.7
280	186.4	180.0	155.9	137.9					191.2	149.4
290	181.1	187.5	149.1	144.0					185.9	156.0
300	175.2	194.6	142.0	149.7					180.0	162.0
310	167.9	202.3	133.5	155.8					173.7	167.8
320	160.4	209.1	124.8	160.8					166.2	173.9
330	151.5	216.4	114.0	165.5					158.6	179.2
340	141.4	223.7	102.7	171.5					149.5	184.6
350	130.6	230.7	90.4	177.3					140.5	190.0
360	118.6	238.0	—	—					129.8	196.0
370	106.5	245.1	—	—					119.9	201.0
380	92.5	252.7	—	—					108.0	207.2
390	76.6	260.5	—	—					93.0	214.2
400	62.7	267.6	(407sec)	207					80.2	220.0
410	45.4	274.1	0						61.9	227.6
420	31.5	281.0							43.1	234.9
430	13.5	286.7							21.1	241.1
440	(435sec) 7.6	288.4							4.3	246.7
450									(443sec) 0	248.0

また、新たに地上設備として直径4mのパラボラアンテナを持つ大型自動追尾レーダ装置を建設した。装置の

詳細は、(本誌75ページ)に紹介するので、その特徴のみを記述するにとどめる。

第 3 表 発射方向より偏差距離

時間 sec	K-8-8 km	K-8-9 km	K-8L-1 km	K-9M-1 km	K-8-11 km
0	0	0	0	0	0
20	N 0.8*		N 1.7		N 0.1
40	2.4		3.1	S 0.1	0.5
80	10.3		3.0	0.3	
120			2.4	0.4	0.7
160	27.6	N 2.3	3.1	1.0	1.1
180			3.2	1.2	
220	34.0	3.6	3.3	(229sec) 1.7	1.2
260	49.0		1.1		1.3
300		5.0	(270sec) 0.8		1.4
340	63.5				
380		5.9			1.5
420	(435sec) 81.9	(407sec) 6.0			(443sec) 1.8

\* N 0.8 は発射方向より北へ 0.8 km ずれたことを示す

- 1,500 km 以上の追跡が可能である。そのため送信電力を 500 kW にした。
- 応答を極力急速にして、各種ロケットの追跡に十分な能力を持たせてある。最大追尾速度、A<sub>z</sub> 軸 60 度/sec, E<sub>z</sub> 軸 30 度/sec, Range 25 km/sec.
- 2 次レーダとしてのみならず、1 次レーダとしても使用でき、その切替は随時可能であり、地上送信周波数は自動的に受信周波数に変更される。
- 送信周波数の切替および偏波を円偏波と直線偏波に切り替えることが自動的にできる。
- 周波数は従来の 1,680 Mc/s 帯である。
- 飛しょう径路が直ちにグラフとして描出される。等である。

3. 航跡標定結果

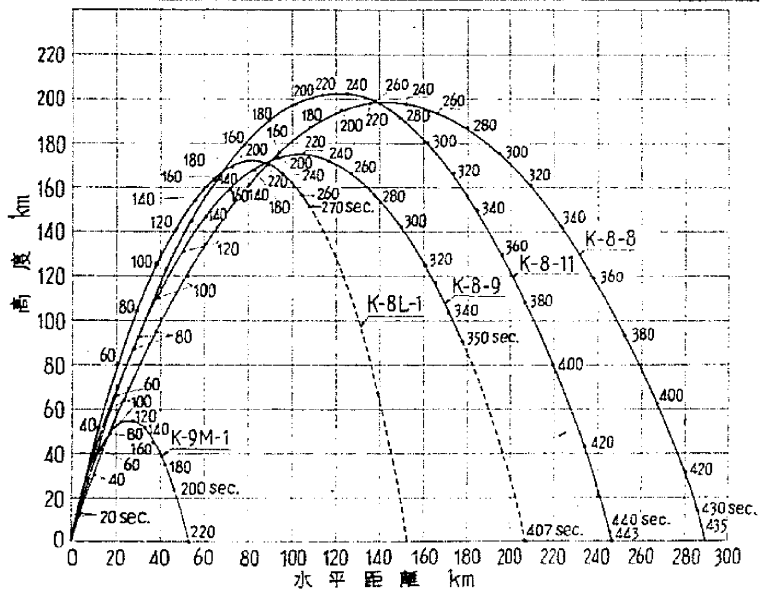
レーダによって航跡標定が行なわれたロケットの名前に対する標定結果の概要は第 1 表のとおりであった。

ロケットの発射方向は道川実験場においては真西（磁気西より北へ 4°）へ向かって発射されたが、鹿児島実験場においては、その地理的条件を知るため過去 3 回のカッパロケットの実験に準じて変更されている。

表中の時間基準はイグナイト点火スイッチ投入の時を発射時刻（時間 = 0 秒）とした。発射仰角はランチャー仰角を示し、パラボラ待受角は発射数秒後からロケット追跡を始めるための待受角で、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。第 2, 4 表は各ロケットの時間に対する高度と水平距離を示したものである。第 3 表の発射

第 4 表 カッパ 9L-2 号機の航跡

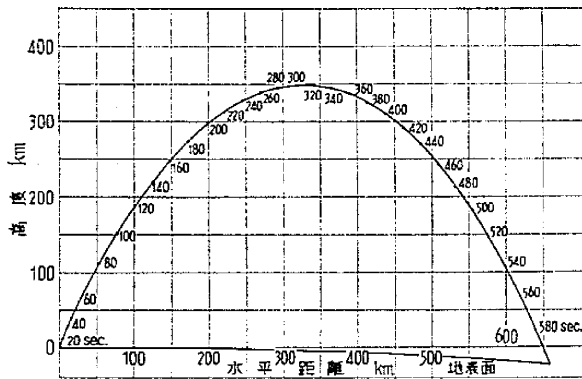
K-9L-2				K-9L-2			
時間 sec	高度 km	水平距離 km	偏差距離 km	時間 sec	高度 km	水平距離 km	偏差距離 km
0	0	0	0	300	347.5	318.4	77.0
10				310	347.6	331.0	
20	11.8	3.4	N 0.8	320	346.8	343.2	83.0
30	18.1	5.8		330	345.3	355.1	
40	27.9	9.8	2.2	340	343.4	366.9	88.8
50	43.9	16.8		350	340.2	379.2	
60	67.3	28.2	6.5	360	335.6	391.5	96.0
70	89.4	39.8		370	330.3	403.5	
80	111.2	52.3	12.2	380	324.6	415.4	102.6
90	131.7	64.5		390	317.4	427.4	
100	151.6	76.9	18.0	400	309.8	439.2	108.5
110	168.4	88.0		410	300.9	451.2	
120	186.1	100.2	23.6	420	291.5	462.9	114.3
130	203.0	112.1		430	280.8	474.8	
140	218.7	124.2	29.2	440	269.6	486.4	120.1
150	233.5	136.4		450	257.0	498.0	
160	247.5	148.1	34.8	460	243.2	510.0	126.0
170	260.7	160.8		470	228.9	521.6	
180	273.8	172.5	40.3	480	213.2	533.0	131.6
190	284.6	184.1		490	198.0	544.1	
200	295.4	197.0	46.0	500	181.4	555.0	137.1
210	303.9	208.8		510	164.5	566.1	
220	312.2	221.1	52.4	520	146.0	577.0	142.5
230	320.0	233.1		530	128.1	587.7	
240	326.0	245.8	59.1	540	108.8	598.6	147.9
250	331.4	258.0		550	87.8	609.5	
260	336.4	270.5	65.4	560	67.4	620.0	153.1
270	340.9	282.0		570	45.2	630.8	
280	343.6	294.5	71.2	580	22.4	641.0	158.3
290	346.2	306.3					



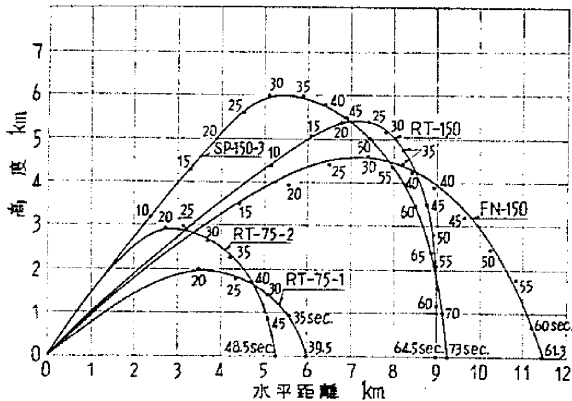
第 2 図 カッパロケットの航跡

第5表 小型ロケットの航跡

名 称	FN-150		RT-150		RT-75-1		RT-75-2		SP-150-3	
発射日	1961.10.26		1961.12.20		1961.12.18		1961.12.18		1962.11.21	
時 間	11.43.		15.05.		10.52.		12.27.		15.09.	
発射角	45°		48°		45°		60°		60°	
時 間 sec	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
10	3.0	3.1	4.4	5.2					3.2	2.4
15	3.5	4.4	5.1	6.1					4.3	3.3
20	3.9	5.6	5.4	6.8	2.0	3.5	3.0	2.7	5.0	3.9
25	4.4	6.5	5.4	7.4	1.8	4.4	2.9	3.2	5.6	4.5
30	4.6	7.4	5.2	7.8	1.4	5.1	2.7	3.7	6.0	5.1
35	4.4	8.2	4.8	8.2	0.9	5.6	2.3	4.2	6.0	5.8
40	3.9	8.9	4.3	8.4	(39.5sec) 0	6.0	1.7	4.7	5.8	6.4
45	3.2	9.6	3.6	8.7			0.9	5.1	5.5	6.9
50	2.5	10.2	2.9	8.8			(48.5sec) 0	5.3	5.0	7.5
55	1.7	10.8	2.1	9.0					4.4	8.0
60	0.7	11.2	1.2	9.0					3.5	8.5
65	(61.3sec) 0	11.8	(64.5sec) 0	9.0					2.4	8.9
70									1.0	9.2
75									(73sec) 0	9.25



第3図 カッパの9L-2航跡



第4図 小型ロケット航跡

方向よりの偏差距離は発射方向に対して何 km 変位したかを示す。第5表は小型ロケットについてまとめたも

のである。

以上の結果は第2, 3, 4図に示してある。

K-8L-1号機のトランスポンダは270秒で突然電波が途絶し、その後は受信不能であった。幸い頂点通過後のことであったので、その後の航跡は推定できた。

K-8-9号機の場合はトランスポンダは正常に動作したが、8ミリカメラが故障したため、正常な直距離解析が350秒までしかできなかったが、最終時間と水平距離が標定できたため、その間の航跡は推定できた。

また小型ロケットにおいては、4ノズルの飛しょう特性測定のためにFN-150、新型レーダの性能テストのためにRT-150、RT-75-1、2号機、ラムダ型小型のスピン特性測定のために、SP-150-3、4号機が打ち上げられた。なお4号機はスピン測定に重点をおいたために軌跡標定は行なわなかった。

#### 4. 結 び

昭和36年7月より昭和37年12月に至る期間に打ち上げられたカッパロケットの航跡標定結果を報告した。

最近になってから、レーダ地上設備、トランスポンダともに非常に安定しており、ロケット全飛しょう中の航跡標定が可能になり、実験に対する自信もついた。

また今後はロケットの大型化につれて標定距離が拡大するため新型レーダの活躍が期待される。

終わりに本実験にご協力いただいた明星電気KKの塩島、瓜本、下間、小路各氏に感謝する。

(1963年3月18日受理)

- 文 献 1) 生産研究, Vol. 13, No. 10  
2) SE ノート秋田 No. 251, 新型自動追尾レーダ装置