

九州周辺海上におけるロラン地上波の伝播についての考察

源 河 朝 之*

Studies on the Propagation of Loran Ground Wave on the Sea Surrounding Kyūshū

Tomoyuki GENKA*

Abstract

The loran-ground-wave was measured in 1963 and in 1964 on the sea surrounding Kyūshū, with an accompaniment of some considerations on observatory errors.

This might be owed its origin to some more or less complicated causes which are to be brought forth by various determining factors, for example, the existence of land in the route of the propagation, or the anomalous weather conditions and so on.

And the observation results might be summarized as in the following:—

(1) In case there should be any lands in the propagation route, the propagation is to be deterred.

(2) In case there should happen any anomalous change in the weather conditions in the propagation route, the propagation is to be deterred.

(3) In case where the propagation-route should be carried along the beach-line, the propagation is to be deterred.

(4) Generally, the propagation deterrent error is in right proportion to the propagation distance, both on sea and on land, while some errors not attributable to the above mentioned principle were observed sometimes, the cause of which was not ascertained yet.

Some effects are supposed to be brought about in case there should be the Kuroshio running across the propagation route, the clarification of the phenomenon was left to further study.

電波伝播に関する基礎的研究は、内外の数理解物理学者によって研究され、かなり明らかにされている^{1),2),3)}。特に地上波に関しては、ほとんど究明されていると言っても過言ではない。しかし、その実際応用面になると、必ずしもそうとは言えない。衆知のように、ロランは主、従二局の組合わせによって、局から発射されるロラン電波の到来時間差を測定することによって、位置の線（双曲線）を求めるためのものである。このようなロラン航法は、漁船、商船にとって重要な航法の一つであり、ますます普及されて来ている。さて、ロラン航法の精度については、十分検討されて来たが⁴⁾、実際面で若干の誤差が変則的に測定されることをよく耳にする。一般にはかなり安定で、好精度を持つと言われる地上波（直接波、地表波、反射波を含めて）を測定した結果、若干の誤差が認められたと言う発表⁵⁾⁶⁾もある。筆者もこのような現象を認めたことがある。

そこで、鹿児島大学水産学部練習船かごしま丸（1038噸、1700馬力）の練習航海を利用して、昭和38年、昭和39年の2回にわたって、九州周辺海上において、ロラン組局 2S6（旧、2H3）、2S7（旧、2H4）、2H7（旧、2H5）、2S5（旧、2H2）、からのロラン地上波を測定した資

* 鹿児島大学水産学部航海学教室 (Laboratory of Navigation, Faculty of Fisheries, Kagoshima University)

料と、既に発表した資料⁴⁾ および昭和38年、昭和39年に本学部実習船「しろやま」(木造、18噸)による桜島周辺における観測資料、を整理検討して、ロラン地上波の伝播について考査した結果、地上波の伝播速度は、伝播経路に存在する諸現象の影響によって変化することを確かめたが、それは特殊な場合を除き、一定の条件に従うことが認められたので発表する。本研究を行なうに当り、観測に協力いただいた、漁業学専攻卒業生、久保、佐賀、平野の諸君、かごしま丸船長外航海士、並びに「しろやま」船長外乗組員に感謝の意を表する。

本研究は昭和39年度文部省科学研究費(各個研究)の援助を得て実施した。記して感謝する。

観測方法および検討

昭和38年度、39年度のかごしま丸内地航海の際に、Fig. 1 に示した九州周辺の海域で、Fig. 2 に示したロラン組局から発信する地上波の測定を行なったが、測定にはかごしま丸装備のKS-335ロラン受信機(光電製作所. 製)と別に臨時に設けたJNA-102ロラン受信機(日本無線. 製)の二台を使用した。(Fig. 3-2 参照)また、「しろやま」によって鹿児島湾の桜島周辺で測定を行なった。使用したロランは、かごしま丸で使用したロランと同一のものである。

ロランアンテナは、Fig. 3-1 に示したように、かごしま丸のロランには既設のロラン用垂

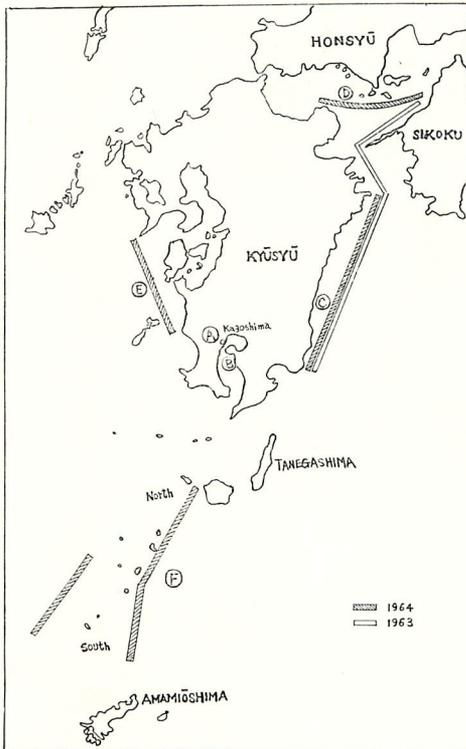


Fig. 1 Chart showing the observational area on the sea surrounding Kyūshū.

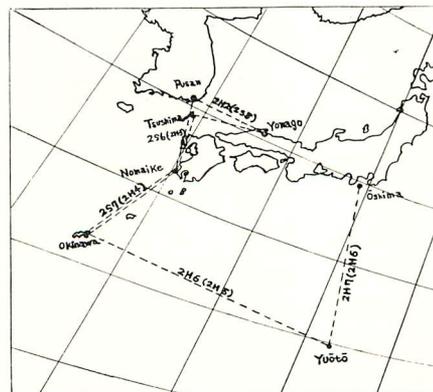


Fig. 2 Gnomonic chart showing the position of each loran station.

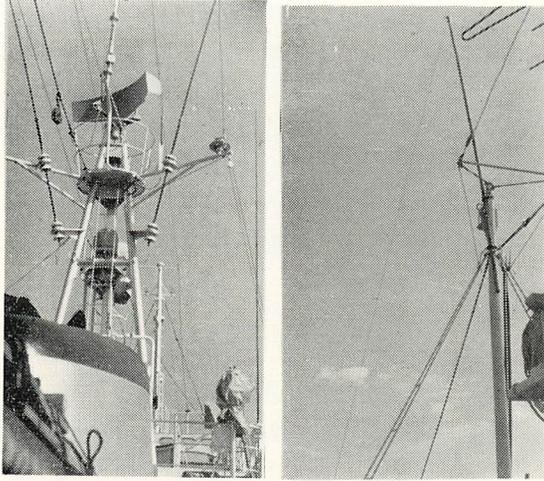


Fig. 3-1 Photo showing the antenna of loran set up in Kagoshima-maru and 'Shiroyama'.

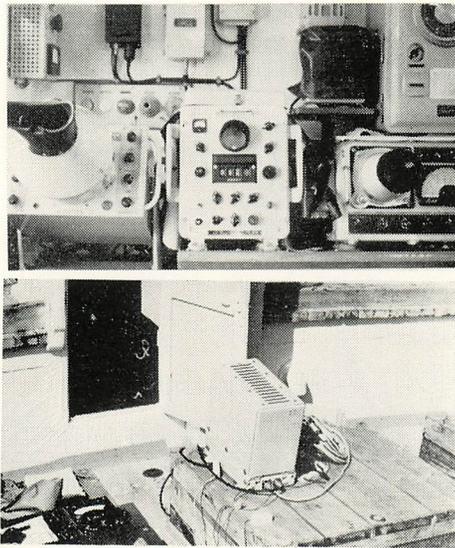


Fig. 3-2 Photo showing the receiver of loran setting in Kagoshima-maru and 'Shiroyama'.

直アンテナを併用し、しりやまではビニール銅線を水面上約11米の高さに展張し、アースは完全に施した。ロラン受信機は調整を完全に行ない、特にゼロ点調整は度々検認した。実験中最も注意したことは、測定時間に対して実測船位を修正する点であって、僅かな、時間のずれに対しても転位誤差を十分に加減した。実測船位の測定は誤差発生防止に努め、大尺度の海図を使用して、交叉方位法、三標両角法（三杆分度儀法）を主とし、レーダーによる船位も使用した。実験は受信電波の安定な時機を選び、不安定な時には測定を控えたので、測定値はかなり信頼出来るものと言える。測定誤差は検討の結果 $\pm 0.5\mu, S.$ 以下と推定した。

観測資料

観測海域がロラン組局と相対的にどのような関係にあるかを示すために、観測年毎にTable 1-1 Table 1-2. を掲げた。また、観測資料を、各海域毎に Table 2 に掲げ、伝播誤差の実態と、各海域における測定局に対する誤差の傾向を示した。昭和38年度の資料を Table 3 に掲げたが、Table 2 とは異なって測定局毎に伝播誤差を距離で表わした。測定資料の伝播誤差は次のようにして算出し、符号を付けた。すなわち、観測点（船位）において、受信されねばならないロラン局に対する時間差（基準時間差とする）をロランテーブル、ロランチャートから求め、実際の測定時間差と比較してその差を求め伝播誤差とした。符号は、基準時間差よりも測定時間差が大なるときは \oplus 、小なるときは \ominus とした。伝播誤差 \oplus の持つ意味は、従局からの電波の速度が主局からの電波の速度よりも遅かったことを表わし、 \ominus は主局からの電波の速度が従局からの電波の速度よりも遅かったことを表わすものである。昭和39年7月1日よりロラン局名が変更になったが、旧局名はそれ以前の観測資料にのみ用いた。各測定資料の伝播誤差は、観測海域の傾向を見るため、同符号の群をまとめて、その平均値と最大値を示した。これらの群は観測点の距離が接近している関係で、伝播経路の屈折率が類似し

Table 1. Comparison table of propagational distance from each loran station (master and slave station) at each observational area.

1-1. On the observation in 1964.

Loran station	Observational area	Master station	About distance (Mil.)	Slave station	About distance (Mil.)
2H2	Iyonada	Fusan	168	Yonago	102~127
2H3	Iyonada South sea of Kyūshū	Nomaike	162 102~166	Fusan	168 325~382
2H4	South sea of Kyūshū	Nomaike	102~166	Okinawa	153~222
2S6	Around of Sakura shima Amakusanada Hyūganada South sea of kyūshū	Nomaike	30 20~70 50~140 60~172	Tsushima	196 125~180 180~220 260~360
2S7	Around of Sakura shima	Nomaike	30	Okinawa	340
2H7	Hyūganada South sea of Kyūshū	Yuōtō	660 680	Ōshima	420 590

1-2. On the results of observations in 1963.

Loran station	Observational area	Master station	About distance (Mil.)	Slave station	About distance (Mil.)
2H2	Hyūganada Iyonada	Fusan	240 200	Yonago	220 120
2H3	Hyūganada Iyonada	Nomaike	110 220	Fusan	240 200
2H5	Iyonada Hyūganada	Yuōtō	660 630	Okinawa	500 390

Table 2. Measuring data of propagational error to loran ground wave at the each observational area in 1964.

2-A. Measuring values at the Faculty of Fisheries, Kagoshima University for loran station 2H3. and 2H4.

Loran station	2H3	Group of error ($\mu.s.$)	2H4	Group of error ($\mu.s.$)	Loran station	2H3	Group of error ($\mu.s.$)	2H4	Group of error ($\mu.s.$)
Standard time diff.	3657 $\mu.s.$		4915 $\mu.s.$		Standard time diff.	3657 $\mu.s.$		4915 $\mu.s.$	
Date					Date				
31st July Noon	3659		4913		15	3660.5		4915	
13			4913		16	3660		4913	
14		+2	4913		17	3663		4914	
15		(+2)		-2	18	3662		4916	
16	3659		4913	(-2)	19	3660		4015	
17			4913		20	3660		4916	
18			4914		4th Aug. 6	3660		4912	
1st Aug. 9					7	3660		4913	
10			4917		8	3661		4916	
11			4917		9	3660		4914	
Noon	3662		4917	+1	10	3661		4915	
13	3663	+5	4915	(+2)	11	3659		4915	
14			4916		Noon	3662		4915	
18	3656		4913		13	3662		4915	
19			4913	-4	14	3660		4915	
2nd Aug. 5			4913		15	3661		4915	
6	3662		4919		16	3660	+6	4913	0
7	3659		4919		17	3661	(+8)	4916	(+3)
8	3662		4914		18	3664		4915	
9	3662		4915		19	3661		4917	
10	3664		4917		20	3665		4915	
11	3662		4915	+2	21	3660		4918	
Noon	3662	+6	4916	(+4)	22	3662		4915	
13	3662	(+7)	4916		23	3661		4917	
14	3660		4916		M.N.	3665		4915	
15	3663		4914		5th Aug. 1	3664		4916	
16	3663		4916		2	3665		4920	
17			4910		6	3662		4914	
18	3660		4915		7	3661		4917	
19	3665				8	3661	+5	4916	
3rd Aug. 7	3660		4917		9	3662	(+6)	4918	+1
8	3658		4915		10	3663		4916	(+3)
9	3660		4916		11			4915	
10	3660		4915		Noon			4918	
11	3662		4915						
Noon	3663	+4	4914	0					
13	3660	(+6)	4913	(-2)					
14	3660		4915						

2-B. Measuring values at the sea surrounding Sakurashima for loran station 2S6 and 2S7.

B-(1). Measuring values on the loran station 2S6.

No. of station	Date	Observational time diff. (μ s.)	Standard time diff. (μ s.)	Propagational error (μ s.)		Group of error (μ s.) mean & (max.)
				+	-	
1	21st Dec 1020	3295.0	3290.4	4.6		
2	1200	3256.0	3256.2		0	
3	1233	3248.0	3250.8		2.8	-1.5 (-2.8)
4	1300	3242.0	3243.6		1.6	
5	1320	3247.0	3245.2	1.8		
6	1345	3256.0	3253.4	2.6		
7	1403	3258.0	3259.2		1.2	
8	1419	3249.0	3249.6		0.6	
9	1430	3255.0	3253	2.0		
10	1450	3261.0	3260.8		0	
11	1503	3264.0	3264.2		0	
12	1518	3260.5	3257.8	2.7		
13	1530	3253.0	3252.4	0.6		
14	1545	3253.0	3251.2	1.8		
15	1602	3261.5	3261.4		0	+2.0 (+4.6)
16	1618	3268.0	3264.4	3.6		
17	1630	3258.5	3258.4		0	
18	1645	3247.0	3245.6	1.4		
19	1000	3224.3	3224.2		0	
20	1025	3214.5	3211.4	3.1		
21	1045	3205.0	3201.6	3.4		
22	1103	3204.0	3201.6	2.4		
23	1120	3208.0	3206.4	1.6		
24	1137	3211.0	3212.0		1.0	
25	1205	3224.5	3223.8	0.7		
26	1225	3212.5	3212.6		0	
27	1243	3203.0	3201.6	1.4		
28	1306	3184.0	3184.8		0.8	
29	1326	3186.0	3183.4	2.6		
30	1340	3187.0	3185.0	2.0		
31	1400	3190.0	3190.4		0.4	+2.1 (+4.4)
32	1437	3186.0	3185.2	0.8		
33	1505	3200.0	3196.6	3.4		
34	1532	3220.0	3215.6	4.4		
35	1552	3235.0	3233.4	1.6		

B-(2). Measuring values on the loran station 2S7.

No. of station	Date	Observational time diff. (μ s.)	Standard time diff. (μ s.)	Propagational error (μ s.)		Group of error mean & (max.)
				+	-	
1	21st, Dec 1020	4703.0	4706.0		3.0	
2	1200	4695.7	4797.6		1.9	
3	1333	4698.0	4700.4		2.4	
4	1300	4702.0	4703.0		1.0	
5	1320	4705.5	4707.4		1.9	
6	1345	7040.5	4703.6		3.1	
7	1403	4706.0	4707.0		1.0	
8	1419	4710.4	4712.6		2.6	
9	1430	713.04	4714.4		1.4	
10	1450	708.5	4710.2		1.7	
11	1503	4709.3	4712.2		2.9	
12	1518	4715.0	4717.4		2.4	
13	1530	4717.0	4720.4		3.4	
14	1545	4724.3	4725.8		1.5	
15	1602	4721.0	4722.0		1.0	
16	1618	4725.0	4727.4		1.9	
17	1630	4725.5	4731.4		1.9	-2.3
18	1645	4730.0	4731.4		1.4	(-5.4)
19	1000	4732.0	4733.8		1.8	
20	1025	4729.5	4730.4		0.9	
21	1045	4723.4	4726.4		2.8	
22	1103					
23	1120	4712.0	4717.4		5.4	
24	1137	4711.0	4713.4		2.4	
25	1205	4706.5	4708.6		2.1	
26	1225	4704.0	4705.6		1.6	
27	1243	4710.0	4711.4		1.6	
28	1306	4714.0	4715.8		1.8	
29	1326	4718.0	4722.2		4.2	
30	1340	4723.0	4725.4		2.4	
31	1400	4726.0	4730.2		4.2	
32	1437	4736.5	4736.4		0	
33	1505	4738.0	4739.0		1.0	
34	1532	4735.0	4737.6		2.6	
35	1552	4734.0	4737.8		3.8	

C-2, Measuring values at the Hyūganada for loran station 2S6 and 2S7.

C-(1). Measuring values on the loran station 2S6.

Date	Position of observational point		Observational time diff. (μ s.)	Standard time diff. (μ s.)	Propagational error (μ s.)		Group of error (μ s.) mean & (max.)
	Lat.	Long.			+	-	
7th Oct. n.m. 2355	32°-58'.9N	132°-09'.0E	2388.0	2386.4	1.6		
8th Oct. 0443	48.0	05.7	2472.0	2472.0	0		
0110	42.5	04.2	2515.0	2516.0		1.0	-0.8 (-1.2)
0139	36.7	02.7	2562.0	2563.2		1.2	
0213	30.9	131-59.4E	2612.0	2611.2	0.8		
0236	26.5	56.6	2643.0	2648.0		5.0	
0307	21.4	53.5	2688.0	2691.2		3.2	
0349	14.4	50.0	2755.0	2750.8	4.2		
0420	08.7	47.4	2799.0	2798.4	0.6		
0444	03.8	45.7	2833.0	2838.4		5.4	
0517	31-57.5N	43.8	2884.0	2888.2		4.2	-4.0 (-5.8)
0555	50.1	41.2	2941.0	2946.8		5.8	
0622	44.8	39.0	2983.0	2988.2		5.2	
0650	39.5	36.5	3029.0	3029.6		0.6	
0715	34.8	33.6	3066.0	3067.0		1.0	
0741	30.7	30.9	3095.0	3099.4		4.4	
0813	24.8	27.5	3139.0	3142.2		4.2	
0849	20.6	22.3	3174.0	3179.4		5.4	
0915	17.8	16.8	3211.0	3211.0	0		
0945	14.1	10.7	3244.0	3247.2		3.2	
1015	10.0	05.0	3282.0	3281.8		0	-0.8 (-3.2)
1046	06.6	130-59.0E	3315.0	3314.6		0	
1116	03.1	53.0	3346.0	3343.4	2.6		
1154	30-58.7N	44.6	3377.0	3378.6		1.6	

C-(2) Measuring values on the loran station 2H7.

Date	Position of observational point		Observational time diff. (μ s.)	Standard time diff. (μ s.)	Propagational error (μ s.)		Group of error (μ s.) mean & (max.)
	Lat.	Long.			+	-	
8th Oct. h.m. 0446	32°-03'.6N	131°-45'.6E	2654.0	2658.5		4.5	
0519	31-57.3	43.7	2704.0	2700.0	4.0		
0557	49.9	41.1	2743.0	2745.5		2.5	-4.0 (-6.5)
0625	44.4	38.8	2778.0	2784.5		6.5	
0652	39.3	36.4	2816.0	2822.0		6.0	
0716	34.7	33.5	2845.0	2849.5		4.5	
0743	30.5	30.8	2872.0	2877.5		5.5	
0817	25.0	27.6	2911.0	2913.5		2.5	
0851	20.5	22.2	2940.0	2944.0		4.0	
0917	17.7	16.6	2963.0	2963.5		0.5	
0946	14.0	10.5	2989.0	2988.0	1.0		
1016	10.0	04.9	3019.0	3014.5	4.5		
1047	06.5	130-58.8E	3040.0	3037.0	3.0		+2.8 (+4.5)
1117	03.0	52.8	3062.0	3059.5	2.5		
1155	30-58.6N	44.4	3085.0	3087.0		2.0	

2-D. Measuring values at the Iyonada for loran station 2H2 and 2H3.

D-(1) Measuring values on the loran station 2H2.

Date	Position of observational point		Observational time diff. (μ s.)	Standard time diff. (μ s.)	Propagational error (μ s.)		Group of error (μ s.) mean & (max.)
	Lat.	Long.			+	-	
h.m. 10th May 1430	33°-46'. 7N	131°-35'. 3E	2194.0	2191.8	2.2		
1517	45.4	44.6	2123.0	2124.4		1.4	
1529	44.9	46.4	2107.0	2111.4		4.4	
1544	44.5	49.5	2085.0	2090.4		5.0	
1600	44.0	53.2	2064.0	2063.8	0		
1615	43.5	56.0	2042.0	2045.0		3.0	
1630	43.2	59.0	2023.0	2023.6		0.6	
1648	42.2	132-02.9E	1996.0	1998.6		2.6	
1701	41.7	05.8	1979.0	1979.4		0.4	-2.3 (-6.6)
1715	41.3	08.2	1960.0	1964.2		4.2	
1730	41.9	11.6	1937.0	1938.6		1.6	
1745	43.0	15.1	1910.0	1912.6		2.6	
1800	44.0	18.5	1884.0	1886.8		2.8	
1815	45.0	21.9	1858.0	1861.4		3.4	
1830	46.5	25.9	1830.0	1831.4		1.4	
1847	48.2	29.5	1802.0	1802.6		0.6	
1900	49.5	31.7	1778.0	1784.6		6.6	

D-(2). Measuring values on the loran station 2H3.

Date	Position of observational point		Observational time diff. (μ s.)	Standard time diff. (μ s.)	Propagational error (μ s.)		Group of error (μ s.) mean & (max.)
	Lat.	Long.			+	-	
h.m. 10th May 1428	33°-46'. 7N	131°-35'. 0E	2319.0	2321.6		2.6	
1515	45.4	44.3	2350.0	2349.0	1.0		
1531	44.9	46.8	2361.0	2357.8	3.2		
1547	44.4	50.1	2369.0	2366.8	2.2		+1.7 (+3.2)
1602	43.9	53.6	2376.0	2376.4		0.4	
1616	43.5	56.2	2384.0	2383.6	0.4		
1631	43.2	59.2	2390.0	2390.4		0.4	
1650	42.2	132-03.3E	2403.0	2404.2		1.2	
1700	41.7	05.7	2409.0	2409.2	0		
1716	41.3	08.3	2422.0	2418.0	4.0		
1731	41.9	11.8	2419.0	2416.2	2.8		+2.5 (+4.0)
1747	43.1	15.5	2411.0	2412.0	2.0		
1801	44.0	18.7	2410.0	2409.0	1.0		
1817	45.1	22.3	2404.0	2404.6		0.6	
1832	46.7	26.3	2396.0	2397.6		1.6	
1845	48.0	29.1	2390.0	2397.2		7.2	-3.1 (-7.2)
1905	50.0	32.6	2381.0	2381.0	0		
1915	51.9	34.6	2371.0	2368.6	2.4		

2-E. Measuring values at the Amakusanada for loran station 2S6.

Date	Position of observational point		Observational time diff. (μ s.)	Standard time diff. (μ s.)	Propagational error (μ s.)		Group error (μ s.) mean & (max.)
	Lat.	Long.			+	-	
28th July	h.m.						
0125	31°-40'.7N	130°-05'.6E	3243.0	3234.6	8.4		+8.3 (+18.9)
0214	48.7	06.0	3144.0	3136.0	8.0		
0256	55.2	03.0	3067.0	3055.5	11.5		
0439	32-07.9N	129°-52.3E	2893.0	2880.2	12.8		
0514	11.8	49.2	2829.0	2828.6	0.4		
0544	17.0	47.4	2768.0	2762.4	5.6		
0613	21.7	46.0	2708.0	2708.0	0		
0644	27.2	44.8	2644.0	2634.5	9.5		
0715	32.7	41.8	2581.0	2562.8	18.9		

2-F. Measuring values at the south sea of Kyūshū for loran station 2H3, 2S6, 2S7, and 2H5.

F-(1) Measuring values on the loran station 2H3.

Date	Position of observational point		Observational time diff. (μ s.)	Standard time diff. (μ s.)	Propagational error (μ s.)		Group of error (μ s.) mean & (max.)
	Lat.	Long.			+	-	
28th June	h.m.						
0910	28°-39'.2N	128°-46'.3E	3713.0	3712.0	1.0		+2.6 (+3.6)
0930	42.3	48.7	3716.0	3714.6	1.4		
0946	44.8	50.3	3716.0	3716.0		0.6	
1000	47.5	52.5	3718.0	3719.6		1.6	
1030	52.7	55.5	3725.0	3728.2	2.2		
1045	55.2	57.2	3728.0	3724.8	3.2		
1055	57.1	58.5	3730.0	3726.4	3.6		
1115	29-00.5	129-00.5E	3730.0	3728.6	1.4		
1129	02.5	01.6	3728.0	3730.0		2.0	
1145	05.4	03.0	3729.0	3731.0		2.0	
1200	08.2	04.4	3731.0	3732.4		1.4	-1.8 (-2.0)
1215	10.8	05.9	3734.0	3734.2		0	0
1230	13.5	07.6	3737.0	3736.0	1.0		
1245	16.0	09.7	3739.0	3739.2		0	
1300	18.2	10.6	3740.0	3740.2		0	
1315	21.4	12.4	3741.0	3742.0		1.0	
1345	26.5	15.4	3747.0	3745.8	1.2		+2.3 (+4.4)
1445	36.8	20.8	3755.0	3752.6	2.4		
1500	39.0	21.6	3757.0	3753.2	3.8		
1515	41.9	23.3	3757.0	3755.6	1.4		
1530	45.3	24.4	3761.0	3756.6	4.4		
1547	48.1	25.3	3758.0	3757.6	0.4		

F-(2). Measuring values on the loran station 2S6.

Date	Position of observational point		Observational time diff. (μ s.)	Standard time diff. (μ s.)	Propagational error (μ s.)		Group of error (μ s.) mean & (max.)	North side or South side
	Lat.	Long.			+	-		
7th Sept. 1225	28°-35'. 2N	129°-32'. 1E	3401.0	3400.0	1.0		+5.8 (+11.4)	North
1308	48.0	33.1	3406.0	3404.9	1.1			
1349	49.9	34.5	3408.0	3405.3	2.7			
1423	55.0	36.4	3409.0	3405.9	3.1			
1517	29-04.0N	38.5	3413.0	3403.3	9.7			
1547	08.5	39.5	3409.0	3404.0	5.0			
1615	12.5	39.5	3415.0	3403.6	11.4			
1648	18.0	40.4	3415.0	3404.0	11.0			
1728	23.7	40.5	3411.0	3403.5	7.5			
1803	28.8	41.4	3404.0	3403.9	0			
1900	37.1	47.2	3408.0	3409.6		1.6	-2.4 (-4.2)	South
1929	41.4	50.0	3411.0	3412.4		1.4		
2000	45.0	54.2	3413.0	3417.2		4.2		
2038	50.4	58.5	3420.0	3422.3		2.3		
2100	53.5	130-01.5E	3423.0	3422.3	0.7			
2127	57.0	04.7	3422.0	3423.9		1.9		
2201	30-00.2N	07.7	3428.0	3425.5	2.5			
2229	05.3	11.5	3428.0	3427.8	0			
2306	10.3	13.6	3426.0	3429.2		3.2		
2337	15.2	15.0	3431.0	3430.3	0.7			
0011	20.2	17.0	3434.0	3432.2	1.8			

F-(3). Measuring values on the loran station 2S7.

Date	Position of observational point		Observational time diff. (μ s.)	Standard time diff. (μ s.)	Propagational error (μ s.)		Group of error (μ s.) mean & (max.)	North side or South side	
	Lat.	Long.			+	-			
28th June	h.m.								
0911	28°-39'.4N	128°-46'.4E	2754.0	2747.6	6.4		+4.0 (+6.6)	South	
0930	42.3	48.7	2796.0	2789.4	6.6				
1001	47.7	52.6	2866.0	2865.8	0				
1033	53.2	55.7	2943.0	2941.2	1.8				
1044	55.0	57.1	2969.0	2965.8	3.2				
1100	57.8	58.9	3009.0	3005.6	3.4				
1114	29-00.3N	129-00.4E	3041.0	3040.0	1.0				
1130	02.7	01.7	3076.0	3073.4	2.6				
1145	05.4	03.0	3114.0	3108.9	5.1				
1200	08.2	04.4	3142.0	3147.1		5.1			
1215	10.8	05.9	3182.0	3182.2	0		-4.1 (-5.8)	North	
1230	13.5	07.6	3213.0	3218.8		5.8			
1245	16.0	09.7	3252.0	3255.6		3.6			
1300	18.2	10.6	3285.0	3284.4	0.6				
1315	21.4	12.4	3326.0	3327.8		1.8			
1345	26.5	15.4	3404.0	3397.6	6.4				
1444	36.8	20.8	3539.0	3336.7	2.3				+4.3 (+6.4)
1500	39.0	21.6	3571.0	3565.6	5.4				
1515	41.9	23.3	3605.0	3606.6		1.6			
1530	45.3	24.4	3642.0	3648.2		6.2			-3.6 (-6.2)
1545	47.8	25.2	3677.0	3680.0		3.0			

F-(4). Measuring values on the loran station 2H5.

Date	Position of observational point		Observational time diff. ($\mu.s.$)	Standard time diff. ($\mu.s.$)	Propagational error ($\mu.s.$)		Group of error ($\mu.s.$) mean. & (max.)	North side or South side
	Lat.	Long.			+	-		
7th Sept.	h.m.							
	1228	28°-35'.7N	129°-32'.2E	3894.0	3901.0		7.6	South
	1312	43.7	33.2	3854.0	3856.5		2.5	
	1355	50.9	34.6	3814.0	3817.5		3.5	
	1427	55.7	36.5	3787.0	3791.5		4.5	
	1450	59.5	37.4	3768.0	3771.0		3.0	
	1520	04.5	38.5	3737.0	3743.0		6.0	
	1551	09.2	39.6	3717.0	3717.0	0		
	1618	13.0	39.6	3696.0	3695.5	0.5		
	1809	29.7	41.5	3606.0	3600.5	5.5		
	1901	37.3	47.3	3561.0	3560.5	0.5		
	1930	41.3	50.1	3539.0	3538.5	0.5		
	2001	45.1	54.3	3525.0	3518.5	6.5		
	2040	50.6	58.7	3490.0	3488.0	2.0		
	2101	53.7	130-01.6E	3474.0	3471.0	3.0		
2126	56.9	04.6	3462.0	3453.5	8.5			
2202	30-00.4N	07.8	4335.0	3434.0	1.0			
2231	05.6	11.5	3418.0	3404.0	14.0			
2304	10.0	13.5	3384.0	3378.5	5.5			
8th Sept.	0049	25.8	20.3	3295.0	3285.5	9.5		
	0118	30.4	22.4	3264.0	3258.0	6.0		
	0152	36.7	25.5	3232.0	3220.5	11.5		

Table 3. Measuring data of propagational error to loran ground wave at the each observational area in 1963.

3-A. Measuring values on the loran station 2H2.

A-(1).

Iyonada			
No. of station	observational time diff. (μ s.)	Propagational error (Mil.)	Group of error (Mil.)
1	2067	+0.2	+0.5 (+1.0)
2	2020	+0.1	
3	1945	+0.8	
4	1906	0	
5	1905	+1.0	
6	1905	+0.8	
7	1874	+0.1	
8	1867	-0.3	-0.3 (-0.6)
9	1867	-0.4	
10	1842	+0.2	
11	1785	-0.1	
12	1769	+0.8	
13	1769	-1.8	
14	1746	-0.1	
15	1746	-0.3	
16	1746	+2.5	
17	1720	-0.2	
18	1714	-0.6	
19	1700	-0.1	

A-(2).

Bungo Channel			
No. of station	observational time diff. (μ s.)	Propagational error (Mil.)	Group of error (Mil.)
1	1925	-0.2	-0.5 (-1.0)
2	1977	0	
3	1991	-0.2	
4	1998	-1.0	
5	2011	-0.9	
6	2028	-0.3	

A-(3).

Hyuganada			
No. of station	observational time diff. (μ s.)	Propagational error (Mil.)	Group of error (Mil.)
1	2053	+1.3	+1.1 (+1.6)
2	2081	+0.5	
3	2126	+0.7	
4	2163	+1.3	
5	2187	+1.6	
6	2201	+0.6	
7	2229	+1.3	

3-B. Measuring values on the loran station 2H3.

B-(1).

Iyonada			
No. of station	observational time diff. (μ .s.)	Propagational error (Mil.)	Group of error (Mil.)
1	2285	+0.1	+0.2 (+0.4)
2	2321	+0.2	
3	2339	+0.4	
4	2344	-0.8	-0.4 (-1.3)
5	2345	-0.2	
6	2350	-0.2	
7	2353	0	
8	2367	-1.3	
9	2368	+0.1	
10	2390	-0.1	
11	2408	-0.8	
12	2417	-0.1	
13	2430	-0.6	
14	2435	+0.4	+0.5 (+1.0)
15	2435	+0.2	
16	2455	+1.0	
17	2457	+0.2	
18	2451	0	
19	2475	-0.3	+0.5 (+1.5)
20	2477	+0.6	
21	2474	+1.5	
22	2486	-0.3	
23	2502	0	
24	2514	+0.8	
25	2510	+0.1	
26	2522	-0.5	
27	2539	+0.2	
28	2530	0	
29	2570	-0.3	

B-(2).

Bungo channel			
No. of station	observational time diff. (μ .s.)	Propagational error (Mil.)	Group of error (Mil.)
1	2658	+0.1	+0.5 (+0.9)
2	2640	+0.1	
3	2665	+0.8	
4	2679	+0.9	
5	2698	-1.4	
6	2744	-0.6	+0.6 (+3.2)
7	2775	+0.1	
8	2820	0	
9	2857	+0.5	
10	2955	+1.0	
11	3055	+3.2	
12	3113	0	
13	3297	+1.5	
14	3282	-1.4	
15	3363	+0.1	

3-C. Measuring Values on the loran station 2H5.

Iyonada			
No. of Station	Observational time diff. (μ .s.)	Propagational error (Mil.)	Group of error (Mil.)
1	3650	+1.5	+1.5 (+2.2)
2	3675	+1.9	
3	3690	+2.2	
4	4175	+1.0	
5	4200	+0.9	
6	4205	+2.4	

ていると見なされる。しかし、桜島周辺では観測点の設定から見てそのような見方は考えられないのでそのままにした。昭和38年度の資料 (Table 3) は、昭和39年度の資料 (Table 2) に比し若干不備な点があるので、主に、39年度の資料を中心に考察し、38年度の資料は誤差傾向を見る程度の参考資料にした。九州周辺における各観測海域の誤差傾向一覧図を Fig. 4 に示し、総合考察の資料とした。なお、各海域における観測当日の天気図 (気象庁発行) を Fig. 6 に示し、考察の資料とした。

考 察

理論の検討

電波伝播の基礎理論は、マックスウェルの電磁理論がその根本になっていることは既に知られている。単弦波の進行速度は、絶縁体の媒質中を伝播する場合には、一般に次式で表わされる⁷⁾。

$$v_0 = \frac{c}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = 3 \times 10^8 (\text{m/sec})$$

(V_0 …位相速度, μ_0 …透磁率, ϵ_0 …誘電率, c …光速, $\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}$ …屈折率,)

しかし、我々が受信する電波は、単弦波ではなく、周波数を異にする多数の単弦波の進行する信号でなければならないが、その速度は次式で表わされる⁸⁾。

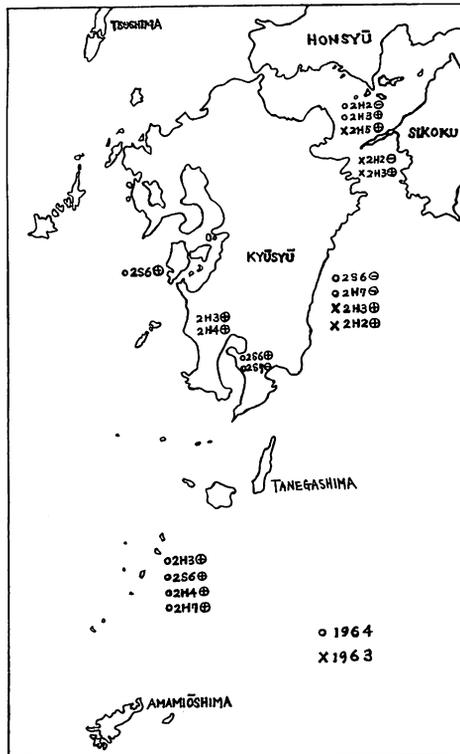


Fig. 4 Chart showing the tendency of propagational error of loran ground wave for each observational area.

$$u = c \cdot n. \quad (u \cdots \text{群速度 } n \cdots \text{媒質の屈折率})$$

電波の速度は伝播経路の媒質の屈折率によって変化するので、伝播経路において陸地（山岳地帯、平坦地帯、砂漠地帯等によって伝播速度が異なることが知られている⁹⁾）の存在や、気象の三要素（気圧、気温、湿度）が著しく異なる場合、すなわち、高気圧、低気圧、不連続線等の存在は、媒質の屈折率を変化させ、逆転層は屈折率の異状分布の原因となり、また、ラジオダクトの発生は、電波回折の原因となる¹⁰⁾ため、伝播速度に影響する。気象三要素から屈折率が次式によって求められる¹¹⁾。

$$(n-1) \times 10^6 = \frac{79P}{T} + \frac{3.8 \times 10^5 e}{T^2} \quad (n \cdots \text{屈折率}, T \cdots \text{絶対温度}, P \cdots \text{気圧 (m.b.) } e \cdots \text{水蒸気圧 (m. b.)})$$

故に、ロラン地上波は、上述の諸現象の影響によって複雑な形で伝播し遅延することになる。しかし、実際には、ロラン電波測定中にこれらの実態を知ることは出来ないので、ロランでは同一媒質の伝播と見做さざるを得ない。従って媒質の異なる経路を伝播する場合には、誤差が発生することになる。

一般に、電波の速度は、真空中では 3×10^8 m/sec., 大気中では 2.999776×10^8 m/sec., 海上では 2.99692×10^8 m/sec., で、陸上では海上よりも3%遅くなることが定義されている。この外に、海上における海流の流動は、ファラデーの法則によって、起電力、起磁力が生ずることが知られているが、筆者は、この現象が、電波伝播に何等かの影響をおよぼすものと考え研究を進めている。

観測資料の考察

考察するにあたって、前述の一般理論の検討結果から次の仮説を定めた。

仮 説

大気中の伝播速度を基準にして、主、従局からの伝播距離が、Fig. 5 に示したように、
(1)主局＝従局 (2)主局<従局 (3)主局>従局とした場合に、

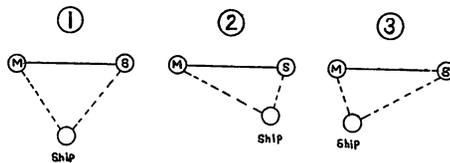


Fig. 5. Sketch showing the distance of relativity from loran master station and slave station for observational station.

- I. (1)の条件で、伝播誤差が \oplus となったときは、従局からの電波が遅れ、 \ominus となったときは、主局からの電波が遅れる。
- II. (2)の条件で、伝播誤差が \oplus となったときは、従局からの電波が遅れ、誤差量は大きくなり、 \ominus となったときは、主局からの電波がおくれ誤差量は小となる。
- III. (3)の条件で、伝播誤差が \oplus となったときは、従局からの電波が遅れ誤差量は小となり、 \ominus となったときは、主局からの電波が遅れ誤差量は大きくなる。

以上の仮説に基づいて、各観測海域におけるロラン局に対する伝播誤差を検討して、若し

仮説に反する場合には、伝播経路に異常現象が存在したことになる。観測資料を見ると、定点観測を行なった本部部における測定値 (Table 2-A. 参照) に変化が見られる。これは、伝播経路の屈折率が変化したためと考えられるが、観測船の場合には船位が刻々変化するので、伝播経路の条件が当然変化する。従って、測定された伝播誤差は変化するのが当然である。このようなことから、測定資料そのままでは、考察し難いので前述の様に誤差を整理した。以下、各観測海域について、測定局毎に、仮説と対比して考察する。

A地点 (鹿大水産学部)

○2H3

Table 2-A-(1) を見ると、伝播誤差は \oplus であり、最大値は $8\mu, s$, , 平均値は $5\mu, s$, である。これは仮説の II. の場合に当るので、(Fig. 2 参照) 伝播誤差は比較的大きく、仮説に一致する。すなわち、主局野間池からの伝播距離は短いので、遅延誤差は僅小と考えられるが、従局釜山の方が距離は長く、しかも陸上伝播が長いので、従局からの伝播が遅れたものと考えられる。当時の天気図 (本誌, 第10巻 107頁に掲載) によると颱風通過はあったが経路から外れているので影響しなかったと見てよい。

×2H4

観測初日を除いて僅かではあるが、 \oplus の誤差である。(Table 2-A-(2)参照) 観測 4 日目の 8月3日の測定値は \ominus の傾向にある。この原因は明らかでないので、或は、黒潮の存在に関係があるのではないかと思われる。このことについては、B海域 (桜島周辺) 考察の際に再び、述べることにする。また、この局は仮説と若干似た傾向であるとも言えるが、颱風通過もあって \oplus の誤差が大きくなったとも考えられるが、比較的誤差が小さいので複雑な伝播状態にあったと考えられる。以上の現象は仮説に反すると言える。

B海域 (桜島周辺)

○2S6

Table 2-B-(1), を見ると、主に \oplus の誤差であり、その最大値は $4.6\mu, s$, 平均値 $2.0\mu, s$, である。この原因は、従局対馬からの陸上伝播が、主局野間池からの伝播に比べ長距離になるので、仮説 II. に一致すると言える。

×2S7

Table 2-B-(2) を見ると、総べて伝播誤差は \ominus であり、その最大値は $5.4\mu, s$, 平均値は $2.3\mu, s$, である。この原因は、主局野間池に比べ従局沖縄の方が伝播距離が長いのに \ominus の誤差になることは、仮説 II. に反することになる。この原因を検討すると、従局沖縄との経路に黒潮が存在するが、これは、F海域 (九州南方海域) における 2S7 の観測資料と同様に、やはり仮説に反して、同じ現象が見られるので、黒潮が何等かの影響を及ぼしているのではないかと推察されるが、詳細については明らかでないので、今後の研究にまきたい。なお、Fig. 6-1 は観測当日の天気図であるが、前線等の異常現象は存在しなかった。

C海域 (日向灘)

△2S6

当海域では、主局野間池よりも従局対馬の方がやや距離は長い、共に陸上伝播であるので、仮説 II. の場合に当たる。従って、 \oplus にならねばならないが、逆に \ominus の傾向にある。昭和38年の Table 3-A-(3) の資料では \oplus である。この原因を考察するに、観測当日の天気図 (

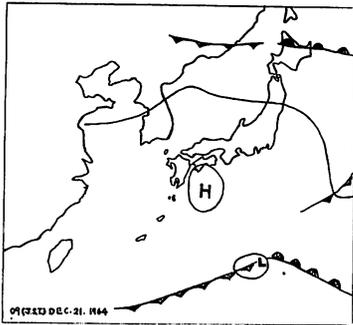


Fig. 6-1. Weather chart showing on the Japanese zone in 21st December 1964.

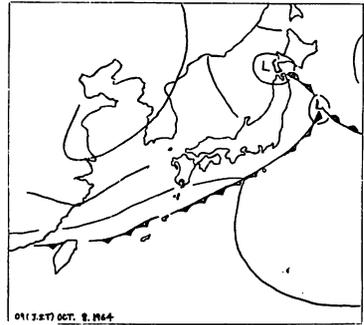


Fig. 6-2. Weather chart showing on the Japanese zone in 8th August 1964.

Fig. 6-2 参照) によると、主、従局の経路に前線が発生しているが、その影響は、前線が主局の経路に沿っているので、主局側に大きいと考えられ、主局からの伝播が遅れたものと思われる。このことから、電波伝播には前線（特に経路に沿った前線）の影響は大きいものと言える。

○2H7

Table 2-c-(2)を見ると、測定誤差は大部分が⊖である。主局硫黄島が従局大島よりも距離が長いので仮説 III. の場合に相当する。従って、距離的に考えれば誤差は⊖となり仮説に一致する。従局は海岸線の影響を若干受けていると見られるが、大きな影響はないと考えられる。一方主局は、天気図から、伝播経路に前線が存在するので、伝播経路の条件は主、従局共ほぼ同一と考えられ、従って、仮説 III. に一致すると言える。黒潮は両局の経路に存在するので、その影響は互に消去する考え方でよいと思うが、詳細については研究の要がある。

D海域 (伊予灘)

当海域は周囲に陸地が存在するので、主、従局共陸上伝播の影響を受け、結局、伝播距離に比例した誤差が生ずると見て大差はないと思う。

○2H2

主局釜山は従局米子より伝播距離が長く、陸地の影響も大きいと見られ、仮説 III. の場合に当る。Table 2-D-(1) によると、⊖の誤差が、最大値 $6.6 \mu.s.$ 平均値 $2.3 \mu.s.$ であるので、仮説に一致する。また、Fig. 6-3 から、前線は主局経路に存在するので、主局からの伝播の遅れを助けたと思われる。Table. 3-A-(1)からは、誤差が小さく同一傾向にないので判断がつかない。

△2H3

Table 2-D-(2)を見ると⊕⊖の区別が判別出来ない。この原因を考察すると、主局野間池と従局釜山は、観測場所によって伝播距離の長短が相反しているが、共に陸地伝播である。このような海域では、⊕⊖の区別が判然としないのが当然で、伝播経路の僅かな条件で (Fig. 6-3 に見られる前線の影響も含めて) ⊕になったり⊖になったりするものと推察される。結局、この場合は仮説には関係がないと言える。

○2H5

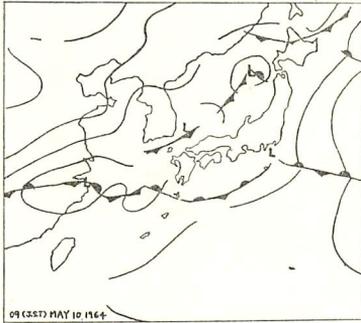


Fig. 6-3 Weather chart showing on the Japanese zone in 5th October 1964.

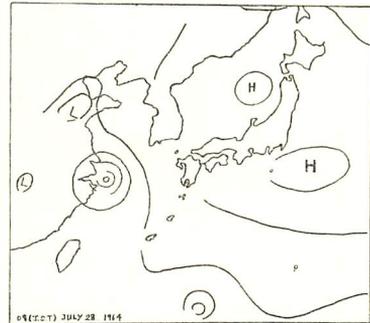


Fig. 6-4 Weather chart showing on the Japanese zone in 28th July 1964.

Table 3-C,に見られる38年度の資料のみであるが、主局硫黄島が従局大島に比べて伝播距離が長いので、仮説 III. に一致して、 \oplus の誤差が測定され、最大値2.2哩、平均値1.5哩になったと推察される。

E 海域（天草灘）

○2S6

当海域は、従局対馬が主局野間池よりも距離が長く、また、陸上伝播の影響を受けているので、仮説 II. の場合に当たるが、Table 2-E を見ると、誤差は \oplus で、最大値 $18\mu\text{s}$. 平均値 $8.3\mu\text{s}$. で、総べて \oplus であるので全く仮説に一致する。Fig. 6-4 には異常気象は存在していないので、影響はなかったと言える。

F 海域（九州南方海域）

当海域においては2回（6月28日、9月7日）観測したが、(Fig. 2-F-(1)同(2)参照) 資料が同じ傾向にあるので、両資料を併せて考察する。

○2S6. 2H3.

当海域では、主局野間池は従局対馬より距離が短かく、従局は陸地伝播が含まれているので、仮説 II. の \oplus の場合に当たるが、観測資料からも \oplus の場合が多く、また、誤差量も多いので、仮説に一致すると言える。Fig. 6-5 を見ると、前線が存在するが、主、従局に影響しているので互に除去してもよいと見做され、従って、伝播経路には影響がなかったものと考えて大差はないと言える。

×2S7. 2H4.

当海域では、主局野間池が従局沖縄に近い海区と遠い海区にわかれるので、仮説 II. の場合と III. の場合に当たる。Fig. 1 のF 海域の南海区は仮説 III. の場合で、北海区は II. の場合になるが、Fig. 6-5, Fig. 6-6 に見られる前線が影響していると思われる、また、高気圧の存在も関係があると見られる。然も、主、従両局の経路に黒潮が存在している。資料を見ると、南海区は \oplus であり、北海区は主に \ominus であるので、共に仮説に反する。然も、前線の影響は主局からの伝播を遅らせる要因になると考えられるので、仮説によると \ominus が増大しなければならないのに、測定値は \oplus となっている。また、北海区も同様な考察がなされる。そこで、各海域における、各局の考察の頭に次の様に符号した。すなわち、仮説に反する局に×印、仮

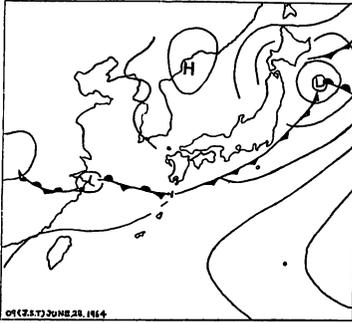


Fig. 6-5 Weather chart showing on the Japanese zone in 28th June 1964.

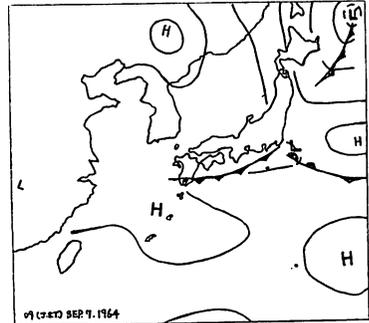


Fig. 6-6 Weather chart showing on the Japanese zone in 7th September 1964.

説に一致した局に○印，仮説に関係しないとする局に△印を付した。さて，これまでに考察した各海域の2S7局の考察を見ると，総べて×印であり，他は総べて仮説に一致するか，または，関係のない局である。従って仮説に反する局は2S7局のみであることになる。このことは，伝播経路に異常気象以外の何かの影響したものと思われ，筆者はこれを，前述したように，黒潮の影響と推察したが，詳細については明らかでないので，更に，研究を進める予定である。

○2H5.

当海域では，主局硫黄島が従局大島より僅かに距離が長いので，一応，仮説 III. の場合に当る。従局は距離が短い，Fig. 6-6. に見られるように，前線の影響を受けているので，伝播が遅れ，主に⊕が現われると考えられるが，資料 (Table 2-F-(4). 参照) から，北海区では⊕の誤差である。但し，誤差量が大きいので，仮説と若干異なることになるが，原因については明らかでない。しかし，前述と同様に，経路には黒潮が存在するので，やはり，その影響が疑われる。南海区では，従局に対し，北海区の場合よりも前線の影響は小さいと見られるので，誤差が⊖となり仮説に一致したと推察される。

結 論

各海域における考察の結果を総合すると，2S7 (2H4) 局を除いて，前述の仮説にほぼ一致することから，一般に，伝播誤差の傾向は，理論上の考察に一致すると云える。然し，観測前に予想していた地上波伝播誤差は，予想に反し案外大きいことが判明した。このことは，地上波の信頼性に対する認識を新たにしなければならないと思う。2S7 局については，各海域とも仮説に反するが，前述した通り，黒潮の影響に起因すると思われる，甚だ興味ある現象である。研究の結果を要約すると次ぎの通りである。

1. 電波伝播経路に，陸地が存在する場合には陸地の地勢状態によって，また，伝播距離に比例して，電波伝播を遅らせる。
2. 異常気象が伝播経路に発生した場合には，伝播を遅らせる。そして，前線が伝播経路に沿った場合には，伝播遅延誤差は大きくなるものと推察される。
3. 伝播経路が海岸線に沿った場合には，伝播を遅らせる。

4. 伝播経路が同じ経路（海上，又は陸上）の場合には，伝播誤差は距離に比例する。
5. 黒潮の様な海流が伝播経路に存在する場合には，何等かの影響があるものと推察されるが，明らかでないので今後の研究にまちたい。

以上のように，九州周辺海上では，地上波の伝播誤差が測定されたので，航海者は，九州海域に限らず，総べての海域でロラン航法による場合には，単なる測定値を過信せず，連鎖的に測定を行なって偏位の傾向を確かめ，また，伝播経路に存在する諸現象に注意して，船位の精度を吟味しながら航海する必要があると思う。

文 献

- 1) 前田憲一・後藤三男(1963): “電波伝播”, 1—2 (岩波書店, 東京).
- 2) 畠山久尙・川野 実(1955): “気象電気学”, 1—9 (岩波書店, 東京).
- 3) 上田弘之・河野哲夫(1961): “電波伝播” 1—17 (オーム社, 東京).
- 4) 源河朝之・田口一夫(1962): 鹿児島における Loran による時間差測定の結果について.
鹿大水産学部紀要10, 102—117.
- 5) 茂在寅男(1960): ロランの地上波による測定時間差の変動について(1). 日本航海学会誌22, 86—91.
- 6) 田口一夫(1965): ロラン地表波実測値に変動を与える要因—1 地理的要因(1). 日本航海学会誌32, 37—42.
- 7) 関口利男・榎本 肇(1964): “電波工学” 16—17 (オーム社, 東京).
- 8) 上田弘之・河野哲夫(1961): “電波伝播” 35 (オーム社, 東京).
- 9) 上田弘之・河野哲夫(1961): “電波伝播” 108 (オーム社, 東京).
- 10) 虫明康人(1960): “アンテナ・電波伝播” 153—155 (コロナ社, 東京).
- 11) 上田弘之・河野哲夫(1961): “電波伝播” 63—64 (オーム社, 東京).