



Title	地表波によるロラン位置の線の測得誤差について
Author(s)	齋藤, 昭二; SAITO, Shoji
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 12(1), 9-15
Issue Date	1961-05
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/23118">https://hdl.handle.net/2115/23118</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	12(1)_P9-15.pdf



# 地表波によるロラン位置の線の測得誤差について

齋藤 昭 二

(北海道大学水産学部練習船おしよる丸)

## On the Error of Loran Lines of Position due to Ground Waves

Shoji SAITO

### Abstract

In order to obtain the probable error of Loran lines of position measured by a ship at sea, on the cruises of the training ship "Oshoro Maru" of the Faculty of Fisheries, Hokkaido University, the writer observed a number of errors of Loran lines of position during the period from 5th of Nov. 1959 to 18th of Dec. 1960.

The method of obtaining error is as follows:

Estimating the ship's position fixed by cross bearing with gyro compass and Radar at coasting.

The error is represented by the length of a perpendicular drawn from the ship's position to the Loran line of position.

Here, the error of the Loran line of position can be expressed as formula (1) of the present article.

Let  $e$  ..... error of Loran line of position

$a$  ..... geometrically non-variable error

$b$  } ..... error on the baseline due to error of measurement of time difference  
 $0.081 \times \Delta t$

$\Delta t$  ..... error of measurement of time difference ( $\mu$  sec)

$\varphi$  ..... the angle between the two directions from the observer to the two stations

Thus, then substitute the number of observed errors  $e$  and their angle  $\varphi$  in formula (1); the values of  $a^2$  and  $b^2$  can be obtained by the method of least squares.

Transforming them into probable errors, one obtains formula (5).

The result of the calculation is shown in Table 3; it is expressed as the solid line in Fig. 1.

### I 緒 言

外洋航海において船位決定の手段としては、従来天体観測によつてゐるが、近時電波航法が発達し、ロラン局の増設及び船舶への普及によりロランの利用機会が多くなつて、時間や天候に制約されず船位が常時求められるようになった。

しかして、天測による船位に対し、このロランによる船位の精度については航海者にとつて直接関係深い問題である。これを解決するにはロラン位置の線の定量的な誤差を知る必要があるが、これに関し、鯨島による「ロラン位置の線の精度について」<sup>(1)</sup>の論文があげられる。

ロランによる決定船位の誤差を求めるとは、まず単一位置の線の精度が問題となるが、今回本邦太平洋岸にもロラン局が新設されたのを機会に、ロラン位置の線の誤差の測定実験を試みた。これはおしよる丸(北海道大学水産学部練習船)の航海を利用し、昭和34年11月5日から昭和35年12月18日までの間に行い、地表波による位置の線の陸測船位に対する誤差を測定整理したのである。

### II 測定及び方法

一組のロラン局からの信号を受信すると同時に陸側により船位を決定し、これから求めたロラン位置の線

Table 1. Observational results of errors of Loran lines of position

Rates	$\varphi$	$e$	Ship's speed	Rates	$\varphi$	$e$	Ship's speed
	°	mile	kt		°	mile	kt
2S1	10.5	0.1	8.7	2H4	75	1.1	8.8
2H3	13	0.1	9.0	1L4	80	0.6	0.0
2S1	13	2.2	8.6	2H6	81	0.65	9.3
"	13	1.0	10.0	"	83	0.15	8.7
"	14	0.5	8.9	"	83	0.4	8.5
1L7	14.5	0.8	0.0	2H2	84.5	0.6	9.2
2S1	15.5	2.9	10.0	2S2	88	1.5	8.6
2H3	15.5	1.6	8.0	2H3	88	0.9	8.8
1L7	16	0.05	9.2	2H2	95	0.5	9.8
1L6	16	1.05	9.3	2S1	103	0.7	8.6
1L7	17	0.8	9.2	2H3	114	1.8	8.0
2H3	18	0.5	9.5	2H4	122.5	0.55	9.3
1L7	19	0.3	9.7	"	127.5	0.8	9.3
2S1	19	1.8	9.2	2H3	129	0.4	0.0
2H4	20.5	0.35	7.4	2S1	138	0.05	7.0
"	23.5	1.25	8.8	2H3	139	0.16	9.8
"	25	0.6	7.0	2H4	140.5	0.4	9.0
"	28	0.65	0.0	2S1	141	0.2	8.9
1L6	31.5	0.6	8.4	2S2	150.5	0.3	10.0
2H4	31.5	0.8	9.4	2H4	153	0.4	9.3
2S1	38.5	1.2	10.0	2H3	154	0.43	9.2
2H3	40	0.1	9.0	1L6	155	1.6	10.0
1L6	40.5	1.5	0.0	2H4	157	0.35	9.0
2H5	41.5	0.85	8.8	1L2	158.5	0.05	0.0
2H3	42	0.05	9.3	2H5	159.5	0.35	7.4
1L3	43.5	0.5	0.0	2H4	160.5	0.55	9.8
2H3	43.5	0.3	9.8	2H3	161.5	0.25	7.6
1L7	47.5	1.05	8.4	1L6	166	0.45	9.7
2H4	49.5	0.2	0.0	2H4	167	0.25	9.5
"	60	0.2	8.0	1L7	168.5	0.15	9.3
2H3	60.5	0.05	9.3	2H3	170	0.3	9.4
2H5	61	0.75	9.0	2S2	172	0.5	8.9
2H3	65.5	0.5	9.3	2H4	172	0.7	9.8
2S2	68	0.35	8.6	2S1	175	0.05	9.1
2H5	71.5	0.4	8.7	2H5	177	0.7	7.0
"	72	0.5	8.7	2S2	179	0.25	10.0
"	73	2.3	9.3	2H4	179.5	0.05	8.0
1L4	73.5	0.9	7.0	2S2	180	0.2	10.0

$\varphi$ : Angle between the two directions from the observer to the two stations

$e$ : Observed errors of Loran lines of position

に垂線を下してその距離を測り測得誤差とした。またこの船位から二つのロラン局の夾角も測定した。なおロラン位置の線はすべて地表波の受信により求め、船位決定も全部陸側によつた。

ロランの受信には Sperry Marine Loran Mark 2 Mod. 2 を使用し、陸測は Sperry Gyro Compass Mark 14 により交叉方位法を主とし、状況に応じて Sperry Marine Rader Mark 2-DO も使用し真方位及び距離を測定した。

方法はまずロラン指示器により、高速走査で信号波形を重ね合わせてそのままの状態にし、次に予定した著明な陸上物標を測定し、再び波形を正確に重ね合わせて時間差の読取りを行った。この陸測を始めてからロランの受信信号を重ね合わせるまでの所要時間は約 1 min 以内であつた。

なおロランの受信は正確を期するため、高速走査のとき波形の不安定な信号は測定の対象とせず、また位置の線を求める場合はすべてロラン・テーブルにより計算し、記入する際もなるべく縮尺の大きい海図を使用した。

### III 測定結果

Table 2. Distribution of frequency of observation to each rates

Rates	Approx. base-line length	Frequency of obs.
	mile	
2H2	207	2
2H3	230	15
2H4	324	14
2H5	725	4
2H6	600	3
2S1	274	11
2S2	223	6
1L4	487	2
1L6	228	1
1L7	240	3
1L6 N	455	4
1L7 N	380	3
1L2 N	213	1
1L3 N	405	1
2H5 W	210	3
2H4 W	260	3

N: Area of North Pacific  
W: Area of west coast of U.S.A.

測定実験は総数76例で、これを夾角の順序にまとめたものを Table 1 に示す。測定中の船速は、表に示すとおり碇泊及び漂流のため 0 kt の場合が約 1 割で、他は 7~10 kt が大部分である。

次にロラン組局別の実験回数をまとめて Table 2 に示す。標準組局の基線の長さは 300 mile<sup>(2)</sup> とされているが、Table 2 より、基線の長さ 400 mile 以上の組局の測定回数は 14 例で、他の 62 例は大体標準局の測定とみてよからう。なお標準局の発信同期の中央誤差は 1 μ sec であるが<sup>(2)</sup>、基線の長さの比較的長い組局の場合は、雑音の少い位置などの条件から発信同期の保守は良好に保たれている<sup>(2)</sup>といわれている。

### IV ロラン位置の線の誤差の一般式

ロランの単一位置の線の誤差は、時間差測定誤差に基く位置の線の偏位誤差と、船位と発信組局との関係位置に無関係な定誤差的なものによることは既に知られている。

ロラン位置の線の偏位誤差  $e$  はこれらの二つが総合されたものであると考えて、次のような一般式<sup>(1)</sup>で表わされる。

$$e = \sqrt{a^2 + b^2 \operatorname{cosec}^2 \frac{\varphi}{2}}$$

$$\text{又は} \quad = \sqrt{a^2 + (0.081 \times \Delta t)^2 \operatorname{cosec}^2 \frac{\varphi}{2}} \quad \dots \dots \dots (1)$$

- 但し  $a$  …… 関係位置によつて変化しない誤差  
 $b$  …… 時間差測定誤差に基く基線上の偏位誤差  
 $\varphi$  …… 船位から測つた発信組局間の夾角  
 $\Delta t$  …… 時間差測定誤差 (μ sec)

0.081 …… 光の速さの半分で、1 μ sec の時間差に対する基線上の偏位量 (mile)

なお、時間差測定の中誤差は約 1 μ sec である<sup>(2)</sup>とされている。

V 実 験 式

(1) 式により、実測誤差  $e$  と、その夾角  $\varphi$  とが多数得られれば、未知量  $a, b$  の値を求めることができる。しかしこのままの形では最小自乗法ができないので、 $a, b$  それぞれの近似値を用いてテイラー展開して二次項以下は捨てて一次式に改める。

$$e = f(a, b) = \sqrt{a + b \operatorname{cosec}^2 \frac{\varphi}{2}}$$

$$\text{今 } a \equiv a_0 + \Delta a$$

$$b \equiv b_0 + \Delta b \quad \text{とおけば,}$$

$$e = f(a_0, b_0) + \left(\frac{\partial f}{\partial a}\right)_0 \Delta a + \left(\frac{\partial f}{\partial b}\right)_0 \Delta b$$

$$\therefore e = \sqrt{a_0 + b_0 \operatorname{cosec}^2 \frac{\varphi}{2}} + \frac{1}{2\sqrt{a_0 + b_0 \operatorname{cosec}^2 \frac{\varphi}{2}}} \Delta a + \frac{\operatorname{cosec}^2 \frac{\varphi}{2}}{2\sqrt{a_0 + b_0 \operatorname{cosec}^2 \frac{\varphi}{2}}} \Delta b$$

$$e - \sqrt{a_0 + b_0 \operatorname{cosec}^2 \frac{\varphi}{2}} = \frac{1}{2\sqrt{a_0 + b_0 \operatorname{cosec}^2 \frac{\varphi}{2}}} \Delta a + \frac{\operatorname{cosec}^2 \frac{\varphi}{2}}{2\sqrt{a_0 + b_0 \operatorname{cosec}^2 \frac{\varphi}{2}}} \Delta b \dots\dots\dots (2)$$

観測方程式 (2) 式から正規方程式を導き、 $\Delta a, \Delta b$  を求めると、

$$\Delta a = 2 \frac{\left(\frac{\operatorname{cosec}^4 \frac{\varphi}{2}}{a_0 + b_0 \operatorname{cosec}^2 \frac{\varphi}{2}}\right) \left(\frac{e}{\sqrt{a_0 + b_0 \operatorname{cosec}^2 \frac{\varphi}{2}}} - 1\right) - \left(\frac{\operatorname{cosec}^2 \frac{\varphi}{2}}{a_0 + b_0 \operatorname{cosec}^2 \frac{\varphi}{2}}\right) \left(\frac{\operatorname{cosec}^2 \frac{\varphi}{2}}{\sqrt{a_0 + b_0 \operatorname{cosec}^2 \frac{\varphi}{2}}} \left(\frac{e}{\sqrt{a_0 + b_0 \operatorname{cosec}^2 \frac{\varphi}{2}}} - 1\right)\right)}{\left(\frac{1}{a_0 + b_0 \operatorname{cosec}^2 \frac{\varphi}{2}}\right) \left(\frac{\operatorname{cosec}^4 \frac{\varphi}{2}}{a_0 + b_0 \operatorname{cosec}^2 \frac{\varphi}{2}}\right) - \left(\frac{\operatorname{cosec}^2 \frac{\varphi}{2}}{a_0 + b_0 \operatorname{cosec}^2 \frac{\varphi}{2}}\right)^2} \dots (3)$$

$$\Delta b = 2 \frac{\left(\frac{1}{a_0 + b_0 \operatorname{cosec}^2 \frac{\varphi}{2}}\right) \left(\frac{\operatorname{cosec}^2 \frac{\varphi}{2}}{\sqrt{a_0 + b_0 \operatorname{cosec}^2 \frac{\varphi}{2}}} \left(\frac{e}{\sqrt{a_0 + b_0 \operatorname{cosec}^2 \frac{\varphi}{2}}} - 1\right)\right) - \left(\frac{\operatorname{cosec}^2 \frac{\varphi}{2}}{a_0 + b_0 \operatorname{cosec}^2 \frac{\varphi}{2}}\right) \left(\frac{e}{\sqrt{a_0 + b_0 \operatorname{cosec}^2 \frac{\varphi}{2}}} - 1\right)}{\left(\frac{1}{a_0 + b_0 \operatorname{cosec}^2 \frac{\varphi}{2}}\right) \left(\frac{\operatorname{cosec}^4 \frac{\varphi}{2}}{a_0 + b_0 \operatorname{cosec}^2 \frac{\varphi}{2}}\right) - \left(\frac{\operatorname{cosec}^2 \frac{\varphi}{2}}{a_0 + b_0 \operatorname{cosec}^2 \frac{\varphi}{2}}\right)^2} \dots (4)$$

となる。

そこで Table 1 の実測誤差とその夾角の測定値 76 例と、次の近似値

$$a_0 = 1.0$$

$$b_0 = 0.01$$

とを用いて (3), (4) 式によつて計算した結果、

$$\Delta a = -0.89700$$

$$\therefore a = 1.0 - 0.89700$$

$$= 0.10300$$

$$\Delta b = +0.00025$$

$$\therefore b = 0.01 + 0.00025 \\ = 0.01025$$

故に

$$e = \sqrt{0.10300 + 0.01025 \operatorname{cosec}^2 \frac{\varphi}{2}}$$

したがつて、これを中央誤差に改めれば、

$$r = 0.8453 e \\ = \sqrt{0.7145(0.10300 + 0.01025 \operatorname{cosec}^2 \frac{\varphi}{2})} \\ = \sqrt{0.0736 + 0.0073 \operatorname{cosec}^2 \frac{\varphi}{2}} \dots\dots\dots (5)$$

となる。

Table 3. Obtained probable errors of Loran lines of position

$\varphi$	$r$
2°	4.91
4°	2.47
6°	1.66
8°	1.26
10°	1.02
15°	0.71
20°	0.56
25°	0.48
30°	0.43
35°	0.39
40°	0.37
60°	0.32
100°	0.29
180°	0.28

$\varphi$ : Angle between the two directions from the observer to the two stations  
 $r$ : Probable errors of Loran lines of position

実験式 (5) により、各夾角に対する中央誤差を計算したのが Table 3 で、Fig. 1 の実線による曲線である。

これらより、夾角が小さい場合は誤差が大きいうことがわかる。また夾角 5° 以下のときはその誤差が 2 mile 以上となり利用不適當としなければならない。

VI 推測中央誤差との比較

基線の長さが 300mile の標準組局の場合で、且時間差測定の中  
 央誤差が 1  $\mu$  sec、またロラン位置の線の誤差全体として、地表  
 波利用面積の 80% に対して 1.5 以下の誤差が得られる<sup>(3)</sup>、という  
 条件から計算した推測中央誤差は<sup>(1)</sup>、鯨島によると

$$r = \sqrt{0.235 + 0.0066 \operatorname{cosec}^2 \frac{\varphi}{2}} \dots\dots\dots (6)$$

で表わされる。そこでこれを計算し Fig. 1 の点線による曲線で示す。

さて、実験式 (5) の  $b^2$  の値は 0.0073 であるから、(1) 式により

$$0.0073 = (0.081 \times \Delta t)^2 \\ \Delta t^2 = \frac{0.0073}{0.006561} \\ \therefore \Delta t = \sqrt{1.11598} \\ = 1.056 \mu \text{ sec}$$

となり、時間差測定の中  
 央誤差は 1.05  $\mu$  sec 強で、1  $\mu$  sec よりわずかに大きいがい  
 い結果であると考えられる。

また (5) 式の  $a^2$  の値が 0.0736 で小さい結果が得られたが、この原因は、陸測からロラン受信までの経過時間による船位のドリフト量による誤差の影響及び、測定資料が各夾角全般にわたっているが、その数の分布は Fig. 1 にみるように夾角 140° 附近以上に誤差の小さい資料が比較的多く集り、これらにある程度影響されているものと判断される。それでロランの定誤差的性質のものが小さい、すなわち Loran system そのものが非常に正確であるとは言えないが、あまり大きな誤差はないと考えられる。

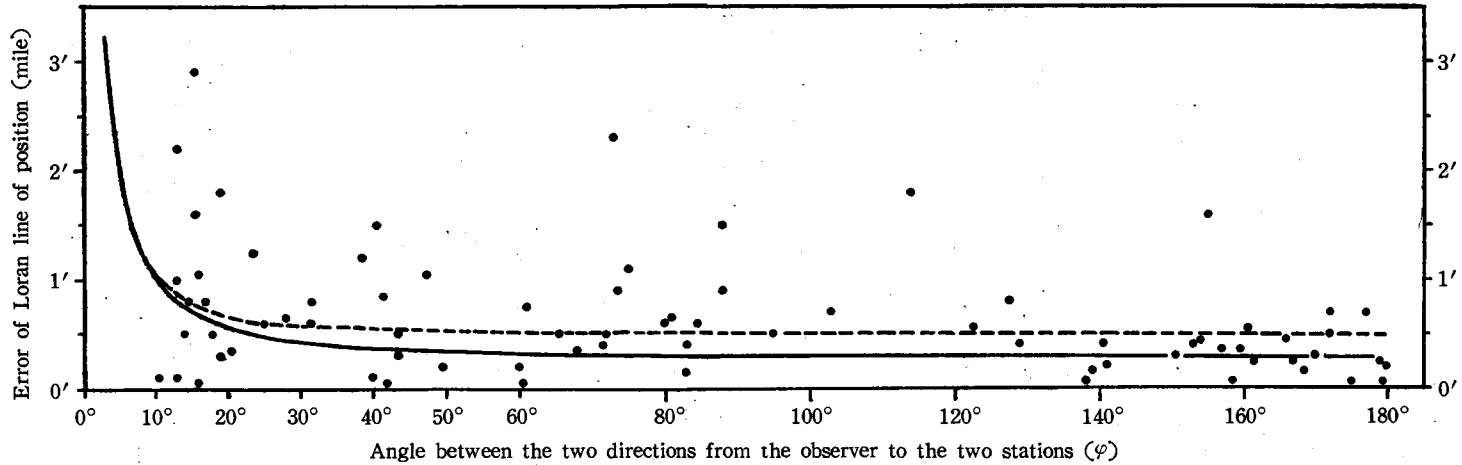


Fig. 1. Observed errors and curve of probable error of Loran lines of position  
 Solid line: Probable error of Loran lines of position which was obtained by observation  
 Dashed line: Probable error of Loran lines of position which was estimated from an American literature  
 ● : Observed errors of Loran lines of position

## VII 結 言

この実験は正確を期するため陸測のみにより船位を求め、また地表波を対象として誤差を測定したが、なお船位のドリフト量などいろいろの誤差の介入は免れない。

しかし、以上の測定実験から次のことが得られた。

(1) ロラン位置の線の実測中央誤差を示す実験式は、

$$r = \sqrt{0.0736 + 0.0073 \operatorname{cosec}^2 \frac{\varphi}{2}} \quad \text{で与えられる。}$$

但し  $r$  = 実測中央誤差

$\varphi$  = 船位から測つた発信組局間の夾角

(2) 時間差測定の中央誤差は  $1.05 \mu \text{sec}$  であつた。

(3) ロランの定誤差的な  $a$  の値は小さく  $0.0736$  であつたが、この測定実験のみではいわゆる Loran system が非常に正確であるとは言えないが、あまり大きな誤差はないと考えられる。

終りにあたり、御教示を賜つた本学部石田正己助教授と同平岩節助教授に深く感謝する次第である。

## VIII 文 献

- 1) 鮫島直人 (1953). ロラン位置の線の精度について. 商船大研究報告 4 A, 138-140.
- 2) Pierce, McKenzie & Woodward, (1948). *Loran. Radiation Laboratory Series. No. 4.* 476 p. New York; McGraw-Hill Book Company, Inc.
- 3) Benjamin Dutton (1951). *Navigation and Nautical Astronomy.* 850 p. Annapolis; U. S. Naval Inst.