ローランにおける空間波の伝播誤差特性

IV 空間波による位置の線並びに船位の精度

西 谷 芳 雄*

東 海 林 修 二**

Chracteristics of Loran Sky Wave Propagation Errors

IV. Errors of Loran Sky Wave Position Lines and Fixes

Y. Nishitani and S. Shoji

Abstract

The accuracy of a Loran sky wave line of position depend chiefly upon the accuracy of matching and reading the signal on receiver-indicator, the accuracy of the sky wave correction and the geometrical factor of precision. We discussed the accuracy of matching sky wave by many observations and found that the influence on the accuracy of a position line is not so large compared with the other two effects. The distributions of the probable error of practical Loran sky wave position line about the several Loran pair at north pacific are calculated. The sky wave accuracy patterns are also shown. From these patterns, the navigator can see the accuracy of a Loran sky wave position line at once.

1. 緒 置

空間波によるローラン位置の線の誤差の主な原因は時間差測定値の誤差と幾何学的誤差であるが、時間観測定値の誤差は伝播誤差すなわち空間波修正値の誤差と波形の重ね合せや時間差指示の誤差すなわち観測誤差に分けられる。このうち観測誤差については、注意深く測定すれば $3\mu s$ をこえることはあるまいといわれている¹⁾が、更に具体的にどの程度であるかを検討することは重要なことである。

空間波修正値の誤差²⁾及び幾何学的誤差³⁾は受信地と発信局との相対的位置関係がわかれば計算することができる。しかし航海中に航海士官が計算することは相当面倒であるから、実際には全く求められていないようである。従つて実際のローラン局に対する空間波による位置の線の精度を計算して、わかりやすい表や等精度曲線を作つておけば、実際の航海上に非常に便利であると考えられる。

2. 観測上の誤差

空間波を用いて位置の線を求める場合、その測定値に含まれる誤差は空間波伝播誤差（空間波

* 海技大学校

** 日本油槽船株式会社

修正値の誤差)と観測上の誤差に分けることができる。空間波伝播による中央誤差を Δx , 観測上の誤差(中央誤差)を Δy とすると、測定値の中央誤差 ΔT は、

$$\Delta T = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \dots\dots\dots (1)$$

伝播誤差 Δx は次の式によつて求めることができる。²⁾

$$\Delta x = K \sqrt{\Delta x_m^2 + \Delta x_s^2 + \Delta x_{sync}^2} \dots\dots\dots (2)$$

但し Δx_m は主局から来る空間波の地表波に対するおくれの中央誤差, Δx_s は従局に対する誤差, Δx_{sync} は同期誤差である。また K は基線の長さに関係する定数で、基線の長さを $\beta(\mu s)$ とすると、

$$K = 0.21 + 0.000075 \beta \dots\dots\dots (3)$$

Δx_m 及び Δx_s は何れも次の式で求めることができる。

$$\Delta x_m = 3.5 + 0.2(8 - 10^{-3}t) + 1.8 \times 10^{-5}(8 - 10^{-3} \cdot t)^7 \dots\dots\dots (4)$$

但し t は μs で表わした受信地と主局との距離である。 Δx_s も(4)と同じ式から求められる。(2), (3)及び(4)式から伝播誤差 Δx が求められる。

受信地を一定場所に固定して多数の測定を行えば、測定値の中央誤差 ΔT が判明する。そうすると(1)式から観測上の誤差 Δy を推定できる。

ローラン受信指示器を海技大学校電波航海計器室 ($34^\circ - 43.2'N$, $135^\circ - 19.1'E$) において、日本近海のローラン局 (2H0, 2H3, 2H4, 2H5, 2S1及び2S2) からの空間波 (1-hop-E波) の時間差を測定した。観測値の中央誤差 ΔT は次の式から求められる。

$$\Delta T = 0.6745 \sqrt{\frac{\sum (T - \bar{T})^2}{N-1}} \dots\dots\dots (5)$$

但し N は観測総数, T は測定時間差, $\bar{T}$ は測定値の算術平均である。この場合は測定場所が極めて明確に定まっているから、電離層の高さが標準状態である場合の空間波による時間差 (Expected sky wave reading) がローラン・テーブルまたはローラン・チャートより求められるので、 $\bar{T}$ としてこのような値をとることとした。また測定実験は通常航海士が船舶において実際に測定する場合とはほぼ同程度の注意深さをもつて行われたものである。表1にはこのようにして測定した測定値

表 1 空間波による時間差測定差

	主局よりの距離 $t_m(\mu s)$	従局よりの距離 $t_s(\mu s)$	測定値の中央誤差 $\Delta T(\mu s)$	伝播誤差 $\Delta x(\mu s)$	観測誤差 $\Delta y(\mu s)$
2H0	1626	2857	4.12	4.29	—
2H3	2022	1874	4.82	4.55	1.24
2H4	2022	3865	4.49	3.87	2.68
2H5	4149	3865	3.48	3.59	—
2S1	2641	4298	2.95	2.73	1.12
2S2	2641	1701	3.78	4.22	—

に対する中央誤差 ΔT 及び(2), (3), (4)式によつて計算された伝播誤差 Δx を示す。但し同期誤差 Δx_{sync} は $0.5\mu s$ であるとした。測定値の中央誤差は先の(1)式に示したように観測誤差及び伝

播誤差の2乗の和の平方根になる筈であるが、表1をみると測定値の中央誤差が伝播誤差よりもかえって小さい場合がある。これは、伝播誤差を先の(2)式で評価すれば、観測誤差は全く問題にする必要がないことを表わしている。すなわちこのような場合は $\Delta y = 0$ と考えてもよいことを意味する。しかし測定値の誤差が伝播誤差よりも大きい場合も勿論ある。この場合は(1)式より観測誤差を求めることができる。その値が表1の最後の項に示されている。観測誤差(中央誤差)の測平均値は $0.84\mu s$ となるから、95%誤差で表わせれば約 $2.4\mu s$ となる。従つて文献に示されている“ $3\mu s$ より大きな誤差を生ずることは殆どない。”という表現¹⁾に比較すると、我々の実験より得られた観測精度の方がわずかに良好である。ローラン受信指示器の調整並びに指示精度が普通 $1\mu s$ 以内であり、波形の重ね合せの精度も $1\mu s$ 以内であることを考えると、空間波の観測精度は若干悪くなる程度である。しかも測定値の誤差はそれぞれの誤差の2乗の和の平方根であるから、観測誤差の影響は更に小さいことが表1からわかるであろう。

この測定実験は発信局より測定地までの距離が比較的近い場合であるから、フェーディングの影響が大きく、観測誤差も割合に大きい筈である。しかし一方においては、伝播誤差も割合に大きいので、観測誤差の影響はかえって小さいかも知れない。基線の長さが300浬で、主、従局から1300浬はなれた場所においては、伝播誤差は $1.74\mu s$ となる。観測誤差を $0.84\mu s$ とすれば、測定値の誤差は $1.93\mu s$ となり、その差はわずかに $0.19\mu s$ にすぎない。従つて位置の線の誤差を評価する場合には、伝播誤差のみをもつて近似的に測定値の誤差と考えてもよいと結論することができる。

3. 空間波によるローラン位置の線の精定

空間波による位置の線の誤差 Δs (浬) は、

$$\Delta s = 0.0809 \cdot \Delta T \cdot \operatorname{cosec} \frac{1}{2} \psi \dots\dots\dots (6)$$

但し ψ は誤差を求めようとする地点から主従局をみた角度である。この角度は計算によつても求めることができる。また $0.0809 \operatorname{cosec} \frac{1}{2} \psi$ はいわゆる幾何学的誤差であるから、ローラン位置の線の密度である。従つてローラン・テーブルやローラン・チャートから簡単に求めることができる。

表2 空間波によるローラン位置の線の精度, 1L2. (50%誤差, 単位-浬)

ΔT は空間波による時間差測定値の精度であるが、先にのべたように近似的には伝播誤差とみることができる。従つて ΔT はその地点と主、従局との距離がわかれば計算することができる。

わが国から北米への航海に当つてよく用いられるロラン局（アリユーション-1L2, 1L3）について計算した。但しこの場合も $\Delta x_{sync}=0.5\mu s$ とした。表2には50%誤差で表わした1L2に

表3 空間波によるロラン位置の線の精度, 1L2. (95%誤差, 単位一浬)

図1 空間波によるロラン位置の線の精度曲線, 1L2. (95%誤差, 単位一浬)

対する位置の線の誤差が示されている。航海者はこの表よりある地点における位置の線の中央誤差を直ちに知ることができる。表3はこれを95%誤差で表わしたものである。図1は更に等精度曲線(95%誤差)を示すものである。基線の垂直2等分線附近では精度の変化がゆるやかであることがわかる。

表4、表5及び図2は1L3に対する同上の精度を示している。以上の表や図からそれぞれの空間波によるローラン位置の線の精度が直ちにわかるから、船位の精度を知る上に非常に便利になったわけである。

表4 空間波によるローラン位置の線の精度, 1L3. (50%誤差, 単位一浬)

表5 空間波によるローラン位置の線の精度, 1L3. (95%誤差, 単位一浬)

図2 空間波によるロラン位置の線の精度曲線, 1L3. (95%誤差, 単位一湊)

4. 空間波を用いた2本のロラン位置の線による船位の精度

2本の位置の線の交りによつて決定される船位の精度を考える場合には、誤差楕円を考えるべきであるが、実際に応用する場合には海図上に楕円を画くことは相当面倒であるので、ここでは誤差界円をとることとした。誤差界円の半径を r とすると⁴⁾,

$$r = \frac{2 \operatorname{cosec} \theta}{0.6745} \sqrt{\Delta s_1^2 + \Delta s_2^2} \dots \dots \dots (7)$$

表6 2本のロラン空間波位置の線による船位誤差, 1L2と1L3の組合せ. (95.5%誤差界円の半径, 湊)

但し Δs_1 及び Δs_2 はそれぞれの位置の線の中央誤差, θ は2本の位置の線の交角である。このような半径 r の円内に船位の存在する確率は95.5%以上である。

表6は空間波を用いた場合の1L2, 1L3の組み合わせによる船位誤差を上述の誤差界円の半径(湊)で表わしている。図3はこのような船位誤差の等精度曲線である。これらの表5及び図3を先の図1及び図2と比較すると、それぞれの位置の線の精度が割合に良好な場所でも、それらの交点としての船位の精度が相当悪い場合が多いことがわかる。これは1L2及び1L3の局配置に原因する所が大きいのである。

5. 平均値を用いた場合の誤差の改善

図5 5回の平均値によるロラン(空間波)位置の線の精度曲線, 1L3. (95%誤差, 単位—浬)

図6 5回の平均値を用いた場合の2本のロラン空間波位置の線による船位精度曲線, 1L2 1L3 の組合せ(95.5%誤差界円の半径—浬)

位置の線や船位の精度を評価できるようになったわけである。また数回の測定値の平均をとった場合の誤差の改善についても大体の目安が与えられたのである。

終りにのぞみ、この研究を進めるに当つて種々有益な御検討をしていただいた海技大学校長谷川助教授に対して深く感謝する次第である。

6. 結 論

空間波によるロラン位置の線の誤差は時間差測定値の誤差及び幾何学的精度によって決定される。時間差測定値の誤差は伝播誤差と測定技術上の誤差(観測誤差)とに分けることができる。われわれは数多くの実験によつて、観測誤差は伝播誤差に比して小さいから無視してもよいということを見出した。従つて空間波による位置の線の精度は伝播誤差と幾何学的誤差とから計算できることがわかつた。

わが国から北米への航海に際してよく用いられるロラン局(アリニューション—1L2, 1L3)について、以上のような観点より空間波による位置の線の誤差及び船位の精度を計算し、実用に便利な表や図表を作製した。航海者はこれらの表や図表より直ちに

参 考 文 献

- 1) J. A. Pierce, A. A. Mckenzie and R. H. Woodward: Loran (1948) p. 89
- 2) 同 上 p. 142
- 3) 同 上 p. 73
- 4) 酒井 進: 天海文航学 (1957) p. 322
- 5) 市瀬, 西谷, 前田: ローランに於ける空間波の伝播誤差特性, II. 平均値の意義
日本航海学会誌, 第 17 号 (1957) p. 15