ロラン C の陸上伝搬速度による補正と その効果について

濱 田 悦 之*・斎 藤 清 隆*・鈴 木 裕*

On the Correction for Use of Propagation Velocity over Land for Loran-C

Etuyuki HAMADA, Kiyotaka SAITO and Hiroshi SUZUKI

Abstract

Loran-C processors generally use a propagation velocity of electromagnetic waves over sea when transforming the coordinates.

However, there were a lot of deviation between the processed positions and observed ones gotten near the Japanese southern coasts. As the reasons, there may be many causes.

This paper describes about a land propagation velocity calculated from the differences between calculated time differences at known places and observed time differences, and the effect of the compensation by the use of that land propagation velocity onto the land paths gotten from the charts, in a good accuracy.

1. 緒 言

一般のロランC用緯度経度計算機においては、海上における電波の伝搬速度を用いて時間差を計算している。ところが既知のある地点において、計算時間差と実測時間差との間にはかなりの差が見られる。この差は多くの原因が関係して生じたものであろうが、その最大のものは陸上伝搬速度が海上のそれと異っているためと考えられる。ここでは、計算時間差と実測時間差との差から陸上伝搬速度を求め、いわゆる局地偏差を修正することを試みた。

2. 陸上伝搬速度の計算

今、ロランCの一つの従局から、既知の地点までの測地線長を S 、伝搬時間を T_s 、主局からも同様に M と T_M とし、海上伝搬速度を V_w とすれば(図1)、計算時間差 T は次式で与えられる。

図1 ロランCの主従局と観測点

図2 陸上径路

$$T = T_s - T_M + \delta + \beta \dots \dots \dots (1)$$

$$T_s = \frac{S}{V_w} \dots \dots \dots (2)$$

* 正会員 東京水産大学(東京都港区港南4-5-7)

$$T_M = \frac{M}{V_W} \dots\dots\dots(3)$$

ここで δ はコーディングデレイ, β は伝搬時間で表現した基線長である。

一方, その場所と従局との間に陸上径路が存在すれば, 実際の伝搬時間が $T_S + \Delta T_S$ となり, 主局に関しても $T_M + \Delta T_M$ となるので(図2), その時の実測時間差 $T + \Delta T$ は次式で与えられる。

$$T + \Delta T = (T_S + \Delta T_S) - (T_M + \Delta T_M) + \delta + \beta \dots\dots\dots(4)$$

この式から(1)式を引くと

$$\Delta T = \Delta T_S - \Delta T_M \dots\dots\dots(5)$$

となり, 計算時間差を実測時間差へ修正する値 ΔT は ΔT_S と ΔT_M の差になる。また ΔT_S と ΔT_M は, それぞれの陸上径路長を S_L と M_L , 陸上伝搬速度を V_L とすれば

$$T_S + \Delta T_S = \frac{S - S_L}{V_W} + \frac{S_L}{V_L} \dots\dots\dots(6)$$

$$T_M + \Delta T_M = \frac{M - M_L}{V_W} + \frac{M_L}{V_L} \dots\dots\dots(7)$$

であるから, (2), (3)を用いて T_S と T_M を消去すれば

$$\Delta T_S = S_L \left(\frac{1}{V_L} - \frac{1}{V_W} \right) \dots\dots\dots(8)$$

$$\Delta T_M = M_L \left(\frac{1}{V_L} - \frac{1}{V_W} \right) \dots\dots\dots(9)$$

で与えられる。

(8), (9)式を(5)式に代入して V_L について解けば

$$\frac{1}{V_L} = \frac{\Delta T}{S_L - M_L} + \frac{1}{V_W} \dots\dots\dots(10)$$

となり, 陸上伝搬速度 V_L を求めることができる。

3. 実験の方法

実験は, 御前埼から洲埼に至る駿河湾, 相模湾および東京湾の海岸近くの路上38地点で行った(図3)。

図3 観測点

値は, 緯度差 $\Delta l = -11.5''$, 経度差 $\Delta L = 11.8''$ である(海図第6019号参照)。

実験に使用したロランC自動受信機は, 国産3社, 輸入1社の計4台であるが, それらを同時に使用したのではなく, 駿河湾ではA社の受信機, 相模湾ではB社と言うように使いわけた。それらの受信機を自動車に積み各観測点で停車し表示が十分に安定する時間をおいて, W, X, Yの三つの時間差を測定した。また4観測点については岸壁着けした船上の受信値と, その船から10m以内の場所に停車した車上の受信値との比較をした。この比較観測は必ずしも同時に行ったわけではなく, 日時が異って行った場合もあった。船上と車上との測定値の間には有意性のある差は認められなかった。

ロランC自動受信機には, サイクルやSN比などの警報機能があるが, それらの警報が出てない状態で測定を行った。また常に緯度経度計算機を働かせておき, $10\mu\text{sec}$ スリップの起っていないことを確認した。観測点の位置は国土地理院発行の 1/25,000 の地図で求めたので 10m 程度の精度で定められているものと思われる。

この地域は, 9970(S S 3)チェーンの主局から約1200 km, W従局から約1900km, X従局から約900km, Y従局から約1500kmほど離れている。Z従局からはさらに離れていて, 地表波の受信は実用上不可能である。位置の線の広がり, Wで約 $410\text{m}/\mu\text{sec}$, Xで約 $160\text{m}/\mu\text{sec}$ そして, Yで約 $300\text{m}/\mu\text{sec}$ である。交角は, WXが 53° , XYが 75° でWYが 52° である。したがって, この地域では位置の線の条件からも, また電界強度からもXYの組合せがもっともよく用いられている。なお, この地域のWG S-72 測地系から, 日本測地系への較正

観測は昭和54年10月から翌年2月までの間の3回にわたって、原則として日中のみ行った。

4. 結果と考察

4.1 時間差の観測値

各観測点における時間差観測値および観測値と計算値との差を表1に示す。ここで計算値は各観測点の緯度経

表1 時間差の観測値の例（観測値－計算値， μsec ）

観測値	W	X	Y
1 東京	17449.8(−0.3)	35524.4 (2.9)	60397.2 (0.6)
2 洲崎	17538.8(−0.5)	35985.3 (1.6)	60490.2 (0.5)
3 小田原	17611.6(−0.4)	35826.7 (2.5)	60284.2 (0.9)
4 石廊崎	17770.6(−0.4)	36302.2 (3.5)	60267.4 (0.1)
5 富士	17727.0(0.3)	35949.6 (5.6)	60142.5 (0.4)
6 静岡	17796.9(−0.3)	36095.0 (6.1)	60092.3 (0.9)
⋮	⋮	⋮	⋮
38 御前崎	—	36344.4 (5.1)	60075.5 (0.4)
(平均値±標準偏差)	(−0.2±0.3)	(2.9±1.4)	(0.4±0.5)

度をWGS-72に変換し、海上伝搬速度で求めたものである。そして観測値と計算値との差の平均値や標準偏差も示す。つまりW局に関する観測値と計算値との差(μsec)は平均−0.2で、標準偏差0.3、X局では平均2.9、標準偏差1.4、Y局では平均0.4で標準偏差0.5であった。

観測値と計算値との差は、とくにXにおいて地域性が見られ、東側（小田原以東）で小さく西側（石廊崎以西）で大きいことがわかる。この地域では主局からはほとんど海上径路のみであるが、X従局からの径路は、西側の測定点ほど陸上径路が長くなるためであると思われる。それに対して、W従局やY従局においては顕著な地域性は認められない。これらの従局および主局からの径路はほとんど海上のみであるからである。

4.2 陸上伝搬径路長および陸上伝搬速度の計算結果

各観測点から主局および各従局までの伝搬径路において陸上距離が長いのはX局からで、北海道、三陸、常盤、関東の各地方の陸上を通過している。その他の局では、房総半島や伊豆半島を通過したり、はずれたりするがいずれにしろ陸上距離はあまり長くない。

陸上伝搬距離の求め方は、1/3,500,000の海図上に各観測点から各局までの大圏径路を引き、その長さを測定した。およそ2kmの精度で求めることができた。

各観測点からX局までの陸上伝搬距離長の例を表2に示す。この表でX従局についてのみ示したのは、他従局は陸上径路が比較的短く（最長でもY局と東京間128km）、陸上伝搬速度の計算には使えないからである。

表2 陸上伝搬速度の計算結果の例

観測点	観測値と計算値との差 $\Delta T(\mu\text{sec})$	X従局からの陸上距離 $S_L(\text{km})$	主局からの陸上距離 $M_L(\text{km})$	陸上伝搬速度 $V_L(\text{km/sec})$
1 東京	2.9	459	34	299072
2 洲崎	1.6	394	0	299320
3 小田原	2.5	589	0	299303
4 石廊崎	3.5	647	0	299200
5 富士	5.6	652	22	298893
6 静岡	6.1	672	1	298879
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
38 御前崎	5.1	659	0	298998
平均値 ± 標準偏差	2.9±1.4			299165±144

この表には、また各測定点におけるX局に関する時間差の観測値と計算値との差 ΔT も示す。

ΔT と S_L , M_L の値を(10)式に入れると陸上伝搬速度 V_L が求められるが、その計算結果も、この表に示してある。 V_L の平均値は 299,165km/sec で標準偏差 144km/sec と求められた。

4.3 無修正の場合の観測位置の精度

時間差観測値から無修正の海上伝搬速度を用いて位置を求めた結果を、位置の線の各組合せ毎 (WX, XY, YW) に図4に示す。

図4 無修正の場合の観測位置の精度

この図において座標の原点は各観測点のWG S-72における位置で、+印は観測値から計算された位置であり、○印はそれらの平均位置を示す。そして平均位置を中心とする円の半径はRMS値を示す。

このように、WXの組合せでは、観測位置の平均位置は南東方向に大きくずれて求まり、RMS値も大きい。XYの組合せでは南方向にずれ、RMS値はやや小さく、YWの組合せは平地位置のずれも小さく、RMS値も小さい。つまり、Xが関与する組合せで位置の精度が低いことがわかる。

4.4 陸上伝搬修正を行った場合の観測位置の精度

前述のように陸上伝搬速度が求められると(8),(9)式で主従局のそれぞれに対する陸上伝搬速度修正値 ΔT_S と ΔT_M を求めることができる。それらの値を使って時間差の海上伝搬速度による計算値を修正して((4)式の $T + \Delta T$)、位置を求めた結果を図5に示す。

図5 陸上伝搬修正を行った場合の観測位置の精度

この図を図4と比較してみると、いずれの組合せにおいても平均位置のずれ、RMS値が小さくなっており、陸上伝搬修正の効果が大きいことがわかる。

なお、図4および図5で示した陸上伝搬修正の効果を定量的に示すために、表3にまとめて示す。この表には図4や図5の場合の外に日本測地系による位置と観測位置との違いも示す。つまり、一般の緯度経度計算機が示すのはWG S-72による位置であるが、そのような測地系変換も行わず、かつ陸上伝搬修正も行わない場合を示す。

このように無変換、無修正の場合に例えばWXの組合せで平均位置が 143° 方向に 144m ずれていたのが、測地

表3 陸地伝搬修正の効果

測地系変換	陸地修正	WX	XY	YW
NO	NO	143°, 144±325m	253°, 354±272m	329°, 367±255m
YES	NO	141°, 609±325m	185°, 459±272m	110°, 117±255m
YES	YES	93°, 108±223m	110°, 49±187m	54°, 83±231m

系のみ変換すると609mになって、ずれの量は大きくなる。XYでも同様に変換した方が大きくなるが、YWでは小さくなっている。つまりこの地域では、Xを含む組合せに関するかぎり、測地系変換のみを行うと精度が低くなる。なお、測地系変換してもRMS値は変っていない。

次に測地系変換、陸上伝搬修正の両方を行った場合には、いずれの組合せでも位置精度が向上し、例えばXYの組合せではずれが49m、RMS値が187mまで小さくなっている。時間差の観測値が $0.1\mu\text{sec}$ (XYのそれぞれの位置の線の広がりと交角を考慮すると38mに相当する)までしか得られないことを考えると測定の限界まで小さくなっていることがわかる。

またRMS値がいずれの組合せにおいても小さくなっていることから、陸上伝搬距離のわずかな違いに対しても、その修正の効果があることを示している。

5. 結 語

この研究を終るにあたり、ロランC自動受信機使用の便宜をはかっていただいた(株)光電製作所、日本無線(株)、レイセオン社および古野電気(株)に厚く感謝の意を表す。

質 疑 応 答

田口 一夫：測点の海岸からの距離は？ 海岸近くなると波面に歪みが生じるし、護岸の鉄筋も影響することを考えておく必要があります。

斎藤 清隆：数メートルから数十メートル以内です。岸壁すれすれで測った場合もありました。

田口 一夫：ロランCのアンテナ位置とアースのとりかたは？ 車の磁場が影響することもあります。

斎藤 清隆：アンテナは自動車の後部バンパーに取付けました。アースは車体にとりました。