

双曲線航法受信機による距離航法

小野房吉*

DISTANCE NAVIGATION BY THE RECEIVER FOR HYPERBOLIC NAVIGATION

Fusakichi Ono

Received 1980 September 19

Abstract

Compared with hyperbolic navigation, in which the position for receiving is found by measuring the time difference of arrival of radio pulses transmitted from three radio stations located at appropriate spacings, Distance Navigation, in which the position for receiving is determined through measurements of the arrival time of radio pulses from two stations, has a much wider service area for the same system and is very useful. In Distance Navigation, however, the reference repetition pulse system at the transmitting/receiving stations should presuppose independent synchronization with high accuracy, and accordingly, the accuracy for determining the position depends upon the frequency stability of the transmitter used. For this reason, these two navigational methods have both merits and demerits. No immediate decision on their relative worth can be reached when viewed economically. However, if both navigational methods can be adopted at the same time in a simple method it will greatly increase their utility.

This report has described the method of reduction calculation wherein distance data is easily obtained by the addition of a highly stable atomic frequency standard to the conventional receiver for hyperbolic navigation, and from the data obtained, the longitude and latitude of the position for receiving is calculated. It also gives the experimental results at sea which were obtained by applying this navigation method based on such a calculation method to Lorán-C.

1. ま え が き

双曲線航法は、適当な距離をおいて配置され、互いに一定の関係で同期した二つの電波発射局からの距離差が一定である点の軌跡が双曲線になるという原理に基づき、2組の電波発射局がつくる2本の双曲線の交点として受信位置を知る航法である。これに対し距離航法は、一つの電波発射局からの距離が一定である点の軌跡は円となり、二つの電波発射局がつくる位置の円の交点として受信位置を知るという航法である。両航法はともに一長一短があり、にわかに優劣はつけ難いが、もし両航法が同時に採用できるなら、サービスエリアが飛躍的に拡大されることとなり大きな効用が期待できる。このような距離航法については、すでに1973年にカナダの S. T.

* 編暦課

Grant がロラン C 距離航法と衛星航法 (NNSS) の混合航法の有用性を指摘し, 1975 年には日本水路部の援助で実施され, ロンボック・マカッサル海峡の水路測量で実用化している. また近く水路部の測量船「昭洋」にも同様な装置を取付ける予定である.

筆者は本報告で, このような航法を比較的安価に実現させる一つの試みとして, 従来の双曲線航法受信機に, 高安定な原子周波数標準を付加する若干の改良で双曲線及び距離データの同時取得を可能にする方式を考案した. また, これまでの距離方式には個々の NNSS データの位置を基準として利用する方式が採用されているが, 航走中の NNSS データは対地速度の不確かさ等の問題があるので, これを避ける方法として, ここではロラン C 距離データを仲介に, 多数の NNSS データを平均化させる整約法を提案した. 以下に本方式の原理およびその整約法について述べるとともに, 改良した装置で実施した日本海島根県沖での実験結果を報告する.

2. 双曲線航法データの内容

Figure 1 において, M が主局, S_1, S_2 が従局である. 従局の発射電波は, 主局の電波を受信してから一定時間経過後に発射する同期方式となっている. そのため従局の発射電波は主局に対して, 基線長 (BL_1) + Coding delay (CD) だけ遅延している. O が受信点であり τ_0, τ_1, τ_2 はそれぞれ, 主局, 従局 1, 従局 2 から受信点までの電波伝播時間で距離に対応する.

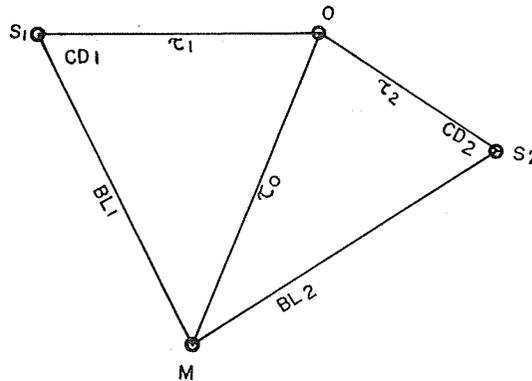


Figure 1 Principle of hyperbolic navigation.

今, 受信点 O で各局の発射パルスを受信し, 主局に対する従局の相対時間差を測定したとすると, まず従局 1 について ΔT_1 は

$$\Delta T_1 = (BL_1 + CD_1) + \tau_1 - \tau_0 \quad (1)$$

従局 2 について ΔT_2 は

$$\Delta T_2 = (BL_2 + CD_2) + \tau_2 - \tau_0 \quad (2)$$

この $\Delta T_1, \Delta T_2$ を高精度に測定することが従来の双曲線航法受信機の目的である. この二つの量がわかれば, 発射局の位置 (経緯度) BL, CD はあらかじめ与えられる量なので, 二つの双曲線の交点を求める方程式を解くことにより受信点の経緯度を算出することができる. 算出手続きについてはここでは省略する.

3. 双曲線航法データの距離データへの変換

(1), (2)式で示される双曲線航法データは, さらに τ_0, τ_1, τ_2 のうちいずれか一つ測定されると, τ_0, τ_1, τ_2 のす

べてが決まってしまうことがわかる。すなわち

$$\tau_1 = \Delta T_1 - (BL_1 + CD_1) + \tau_0 \quad (3)$$

$$\tau_2 = \Delta T_2 - (BL_2 + CD_2) + \tau_0 \quad (4)$$

上式は、 $\Delta T_1, \Delta T_2$ のほかに τ_0 が測定された場合であるが、 τ_1 又は τ_2 が測定された場合も同様である。

4. 送受信点間の距離 τ_0 の測定

例えば、双曲線航法システムの一つであるロランCは、システムの運用が基準時刻系に原子周波数標準を用いて、パルスの発射系列が UTC (協定世界時) に準拠した高度なものとなっている。そのためパルスの発射くり返し及び搬送波の周波数が極めて安定であり、受信側も発射側と同様高安定な原子周波数標準を用いて基準パルス系を作るなら、送受双方のパルスレートを一致させることが可能であり、相当な精度の独立同期が期待できる。そして、これが可能ならば τ_0 の測定も可能である。

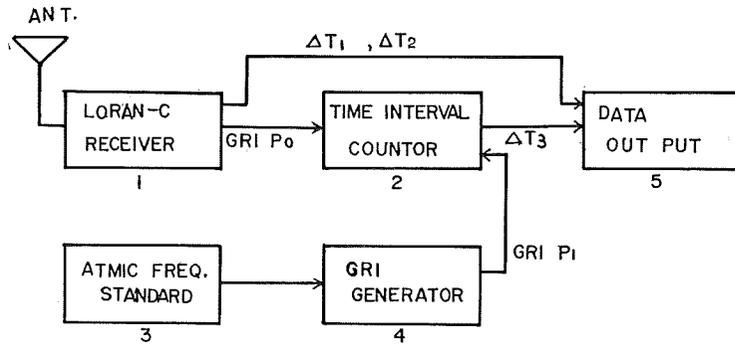


Figure 2 Distance navigation by the receiver for hyperbolic navigation.

Figure 2 においては従来の双曲線航法受信機で、主局と、従局の相対到来時間差 $\Delta T_1, \Delta T_2$ が測定される。さらに 1 からは主局のくり返しパルスと同期した Group Repetition Interval Pulse (GRI P₀) が出力される (従局との同期パルスでもよい)。

3 は原子周波数標準、4 は 3 の出力を適当に分周して、ロラン C と同じくり返しのパルス列をつくるパルス発生器である。2 は GRI P₁ で数え始め GRI P₀ で終わる Time interval counter である。ここで測定される ΔT_3 は、(3)・(4)式における τ_0 そのものではなく、受信側時刻系の初期偏差が含まれたものである。 ΔT_3 は τ_0 に等しいことが望ましいが、一般には ΔT_3 と τ_0 は等しくなく

$$\Delta T_3 = \Delta T_0 + \tau_0 \quad (5)$$

である。したがって ΔT_0 が既知でない限り、 τ_0 は測定されない。 ΔT_0 は送受双方の基準パルス系の同期が確立していれば零となる量である。しかし受信側の基準パルス系は一般に任意にスタートするので ΔT_0 は零とはならないから測定に先だて ΔT_0 を決定しなければならない。 ΔT_0 の測定は送信局で行うことが基本であるが、現実にはそのようなことは不可能であるから、あらかじめ位置のわかった受信点で当該電波を受信し、送受信点の経緯度から測地線の距離を計算し、電波伝播速度を仮定して送受信点間の電波伝播時間 τ_0 を計算から求め、これと測定値 ΔT_3 との差として ΔT_0 を決定する。すなわち

$$\Delta T_0 = \Delta T_3 - \tau_0 \quad (6)$$

である。

5. 電波伝播時間の計算

地表波は測地線に沿って伝播すると考えられるので、次に掲げる式で測地線長を計算し、伝播速度を仮定して送受信点間の伝播時間を求める。

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{b}{a} \tan \varphi \right) \quad (7)$$

$$\chi = \cos^{-1} (\sin \beta_1 \sin \beta_2 + \cos \beta_1 \cos \beta_2 \cos (\lambda_1 - \lambda_2)) \quad (8)$$

$$A_0 = (\sin \beta_1 + \sin \beta_2)^2 \quad (9)$$

$$B_0 = (\sin \beta_1 - \sin \beta_2)^2 \quad (10)$$

$$P = \frac{(a-b)(\chi - \sin \chi)}{4(1 + \cos \chi)} \quad (11)$$

$$Q = \frac{(a-b)(\chi + \sin \chi)}{4(1 - \cos \chi)} \quad (12)$$

$$d = a\chi - A_0P - B_0Q \quad (13)$$

ただし a : 地球の長半径 (=6378.137 km), b : 地球の短半径 (=6356752 km)

$\varphi_1, \varphi_2, \lambda_1, \lambda_2$: それぞれ送受信点の緯度, 経度, χ : 2点間の角距離 (radian)

d : 測地線長 (Km)

次に電波伝播時間 τ は、伝播速度を v としたとき実験式

$$\tau = \frac{d}{v} + \alpha d + \xi + \frac{\gamma}{d} \quad (14)$$

で求める。 d を Km で与え、 $v=0.2996912$ (Km/ μ s), $\alpha=0.002155$ (μ s/km), $\xi=-0.4076$ (μ s), $\gamma=38.67$ (μ s/Km) とすれば (14) 式は μ s 単位で求まる。

6. 距離データの経緯度変換

Figure 1 において τ_0, τ_1, τ_2 のうちいずれか二つの量がわかれば受信点 O の経緯度は、 $M \cdot S_1 \cdot S_2$ を既知として、逐次近似法により求めることができる。

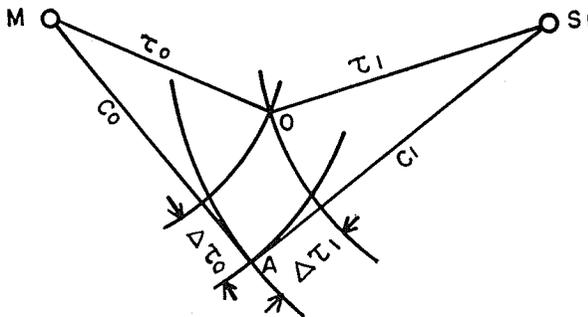


Figure 3 Principle of distance navigation.

Figure 3 において M, S_1 が送信局, O が受信点, A が推定位置である。推定位置を適当に与えると、距離 C_0, C_1 が計算される。そこで測定値 τ_0, τ_1 との差 $\Delta\tau_0, \Delta\tau_1$ を求める。すなわち

$$\Delta\tau_0 = C_0 - \tau_0 \quad (15)$$

$$\Delta\tau_1 = C_1 - \tau_1 \tag{16}$$

次に推定位置 A (φ_A, λ_A) を原点に Figure 4 のような平面直角座標を考えると受信点 O の位置 (φ_0, λ_0) は

$$\left. \begin{aligned} \varphi_0 &= \varphi_A + \Delta\varphi \\ \lambda_0 &= \lambda_A + \Delta\lambda \end{aligned} \right\} \tag{17}$$

で与えられる。そこでこの式の $\Delta\varphi, \Delta\lambda$ を求めれば φ_0, λ_0 が決まる。

$\Delta\tau_0, \Delta\tau_1$ を A 点から見てそれぞれ、M, S₁ 局の真方位 Z_0, Z_1 の方向にとり、そこから直角に直線 B, C を引く。すると交点が受信点 O である。そこで $\Delta\varphi, \Delta\lambda$ を含む連立方程式は、

$$\left. \begin{aligned} \Delta\varphi \cos Z_0 + \Delta\lambda \sin Z_0 &= \Delta\tau_0 \\ \Delta\varphi \cos Z_1 + \Delta\lambda \sin Z_1 &= \Delta\tau_1 \end{aligned} \right\} \tag{18}$$

となり、これを $\Delta\varphi, \Delta\lambda$ について解けば

$$\Delta\varphi = \frac{1}{D} \begin{vmatrix} \Delta\tau_0 & \sin Z_0 \\ \Delta\tau_1 & \sin Z_1 \end{vmatrix} \times E \tag{19}$$

$$\Delta\lambda = \frac{1}{D} \begin{vmatrix} \cos Z_0 & \Delta\tau_0 \\ \cos Z_1 & \Delta\tau_1 \end{vmatrix} \times F \tag{20}$$

ただし $D = \begin{vmatrix} \cos Z_0 & \sin Z_0 \\ \cos Z_1 & \sin Z_1 \end{vmatrix}$

E: 緯度に換算するための定数

F: 経度に換算するための定数

($\Delta\tau$ がマイクロ秒 (μs) で与えられ、緯度の 1 分が 1852 m とすると、 $E=0.16182, F=0.16182 \text{ sec}\varphi$ で経緯度の分となる)

次に、A 点から見た M, S₁ 点の方位 Z' は、それぞれの緯度及び 2 点間の角距離 χ から

$$Z' = \cos^{-1} \left\{ \frac{\sin \varphi_{M,S} - \sin \varphi_A \times \cos \chi}{\sin \chi \cos \varphi_A} \right\} \tag{21}$$

この式で真方位を北から東回りにとると、

$$\sin (\lambda_{M,S} - \lambda_A) < 0 \text{ のとき } Z = 360 - Z' \tag{22}$$

$$\sin (\lambda_{M,S} - \lambda_A) \geq 0 \text{ のとき } Z = Z' \tag{23}$$

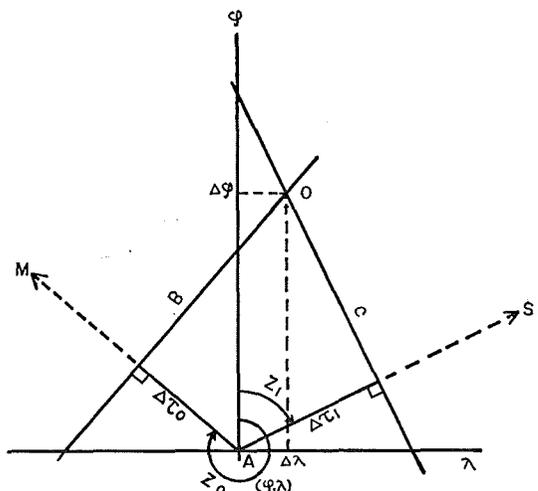


Figure 4 A method of conversion distance data in longitude and latitude.

しかし、実際には地球は平面ではなく、又電波発射局の近傍では位置の円の曲率が大きいので A, O 間の距離が大きいと $\Delta\varphi, \Delta\lambda$ は 1 回の計算では誤差が大きくなる。そこで最初の計算で求める $\Delta\varphi, \Delta\lambda$ を φ_A, λ_A に加え (15), (16) 式の $\Delta\tau_0, \Delta\tau_1$ が十分小さくなるまで収束計算を行う。この方法の収束度は実際には非常によく、A O 間が数十海里離れていても 2, 3 回で十分である。もっとも、この収束度は利用する局の配置と受信海域の相対関係で異なり、Figure 4 の直線 B·C が直交するとき最もよく、平行になれば収束しない。したがって利用する局は、できるだけ直線 B·C の交角が直角に近いものを選ぶようにする。

7. ΔT_0 のドリフト

(6)式で決定される ΔT_0 は、現状では最高水準の発振器を用いても長期間不変であるというわけにはいかない。セシウムビーム原子周波数標準でも $\pm 1 \times 10^{-13}$ 程度の周波数偏差は許容しなければならないし、ルビジウム原子周波数標準では、偏差のほかに周波数のドリフトもある。このような微小周波数偏差とドリフトを考慮すると、一度決定された ΔT_0 は、その後時間の経過とともに変化することを前提に、できれば次式で補正することが望ましい。

$$\Delta T = \Delta T_0 + at + bt^2/2 \quad (24)$$

この式で a は周波数の標準値からの微小偏差、 b はそのドリフトである。 t は ΔT_0 を決定してからの経過時間で、日又は、月を単位として与えることが適当である。また a, b は周波数偏差で与えてもよいし、1 日又は月当たりの位相推移として与えてもよい。 a, b は固定点での当該電波の長時間位相比較データから決定するのが普通である。毎日定時の位相比較値を読取ればその変化分が a であり、 a の変化分が b である。固定点での a, b の決定精度は、一般のロラン C 受信機の測定分解能が $0.1 \mu s$ であるので 10 日間の定時測定で $\pm 1 \times 10^{-13}$ が期待できる。 ΔT_0 は基準パルス系の初期位相偏差であるから既知点での測定結果に、4 節に述べた方法で送受信点間の測地線長を計算し電波伝播時間に換算して補正決定する。

a, b の決定は必ずしも固定点でなくともよく、航行中でも別の何らかの方法で受信点の位置が測定され既知であれば、その位置を与えて、 ΔT が計算できるので、その ΔT から最小自乗法で決定してもよい。すなわち

$$a = \frac{[n \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2][n \sum t_i^2 \Delta T_i - (\sum t_i^2)(\sum \Delta T_i)]}{[n \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2][n \sum t_i^4 - (\sum t_i^2)^2] - [n \sum t_i^3 - (\sum t_i)(\sum t_i^2)][n \sum t_i \Delta T_i - (\sum t_i)(\sum \Delta T_i)]} \quad (25)$$

$$b = \frac{[n \sum t_i \Delta T_i - (\sum t_i)(\sum \Delta T_i)] - a[n \sum t_i^3 - (\sum t_i)(\sum t_i^2)]}{[n \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2]} \quad (26)$$

$$c = \frac{1}{n} (\sum \Delta T_i - a \sum t_i^2 - b \sum t_i) \quad (27)$$

ここで、 $n, t_i, \Delta T_i$ はそれぞれ測定個数、時刻、測定値である。

実際に今回の実験では観測期間中に本航法と同時に、NNSS による測定位置が 70 回程度得られたので、このデータから a, b を決定した。このような a, b の決定方法は一方で多数の NNSS 測位値の平均化を可能とし、航行中における NNSS 測定精度を改善することにもなる。

8. 実験の内容

(1) 実験海域・島根県沖

水路部で昭和 55 年 4 ~ 5 月に測量船「昭洋」により島根沖で実施した海上重力観測の測位手段として本航

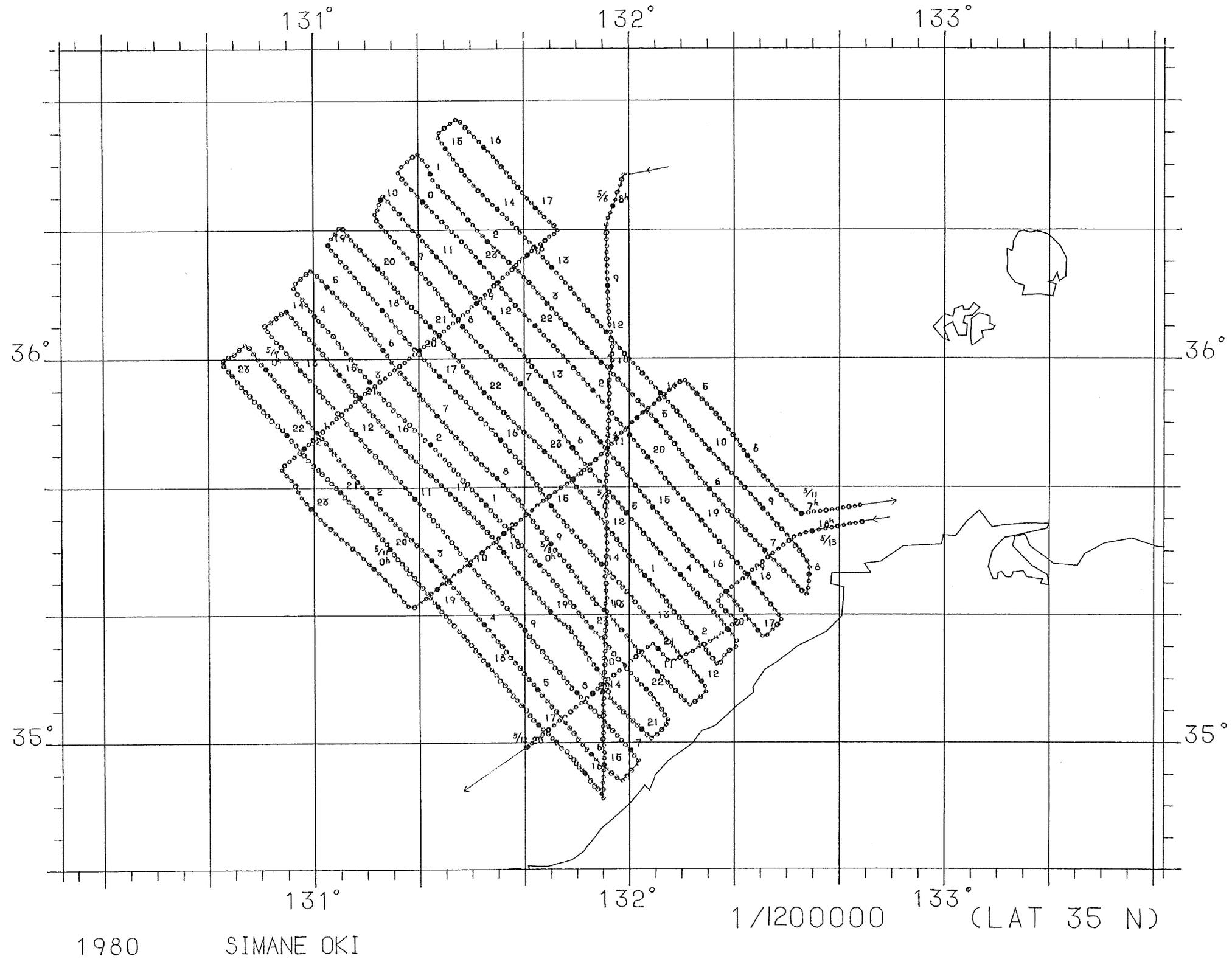


Figure 5 Cruising trail of the distance navigation by gravity measurement.

法の適用を試みた。この海域はロラン C 9970 の主局（硫黄島 M）、従局（北海道 X）、従局（沖縄 Y）の利用可能区域であるが、主局からの距離が比較的遠く（Table 4 参照）、これに空間波の混入が予想され、3局の電波を利用する双曲線航法では高精度は期待できない。しかし本航法では主局、従局を問わず2局の電波受信によって位置決めが可能であるから、当該海域では比較的近い X、Y の2局を使えば、多少位置の円の交角が悪くても高精度な位置決めが可能と判断した。

(2) 受信設備

昭洋には測位装置としてロラン C 受信機2台（LR-3型・古野電気製、DL-91型・デッカ社製）と、1台の NNSS 衛星航法受信機が搭載されている。LR-3型受信機は、今では旧式になるが時間差測定値が X-Y プロットに記録され、双曲線の交角がよいとき航跡記録がとれるものである。DL-91型受信機は最新のもので時間差測定値が表示されると同時に、その測定値はただちにマイクロプロセッサで経緯度に変換されロラン海図がなくても普通の図に航跡が記入できる。

本航法は、LR-3型の同期回路を二重同期による高安定同期受信回路（小野，1980）で改良し、ルビジウム原子周波数標準（日本電気製）を付加して実施した。LR-3型は同時に2本の双曲線データが取得できるようになった受信機で、受信する3局に対して三つの VCO（電圧制御発振器）が内蔵されている。この海域では X と Y 局のデータを取得するので、このうち M 局に対応する VCO をルビジウム原子周波数標準に同期させるように改良し本航法を適用できるようにした。

(3) 実験結果

実測データの一部を Table 1 に示す。この表の φ, λ は測定データを (15)~(23) 式によって経緯度に変換した値である。この変換にあたっては、ルビジウム原子周波数標準のドリフトは、(24) 式で決定した定数を用いて補正している。詳しくは後述する。Figure 5 はこの測位結果を島根沖全観測海域について X Y プロットにより描画したものである。

Table 2 は NNSS 測位時刻における距離及び双曲線測位値である。

Table 3 は NNSS 測位時刻におけるロラン C 距離データ（船舶局基準パルスに対する時間差測定値で Table 1 の Obs. X, Y）と NNSS 測位値から計算される(6)式の ΔT_0 を ΔT 欄に掲げたものである。このデータを用いて (25)~(27) 式を計算し、(24) 式に代入すると

$$\Delta T = 36682.16 + 0.943t - 0.014t^2 \quad (\mu\text{s}) \quad (24')$$

となり、これを NNSS 測定時刻に対して計算したのが C 欄である。先にルビジウム原子周波数標準のドリフトを補正し、と述べたが、各ロラン C 測定データにこの式で求めた ΔT を補正したということである。

Figure 6 は Table 3 の ΔT を経過時刻に対して記入したもので、Figure 7 は Table 2 に示した距離航法位置と NNSS 測位値との差を図示したものである。

9. 実験結果の考察

Table 3 で隣り合う ΔT 間には $\pm 2 \mu\text{s}$ 程度の変動を示し、4日から11日までの7日間に約 $5 \mu\text{s}$ の平均的増加を示している。この ΔT は伝播時間の補正を行った値であるから、送受信局の基準パルス系の同期が確立していれば時の経過とともに変化しないことが正しく、この例のように変動を示せば、それはロラン C か、NNSS の双方、またはいずれかの測位誤差に起因するものと考えられる。ロラン C の測定分解能は $0.1 \mu\text{s}$ であり、実際の測定結果も、Table 1 の測定例の第1階差の変動は $\pm 0.1 \mu\text{s}$ 程度である。したがって、Table 3 の例のような短期間の変動が $\pm 2 \mu\text{s}$ もあれば、それは大部分が NNSS の測定誤差と考えてよい。

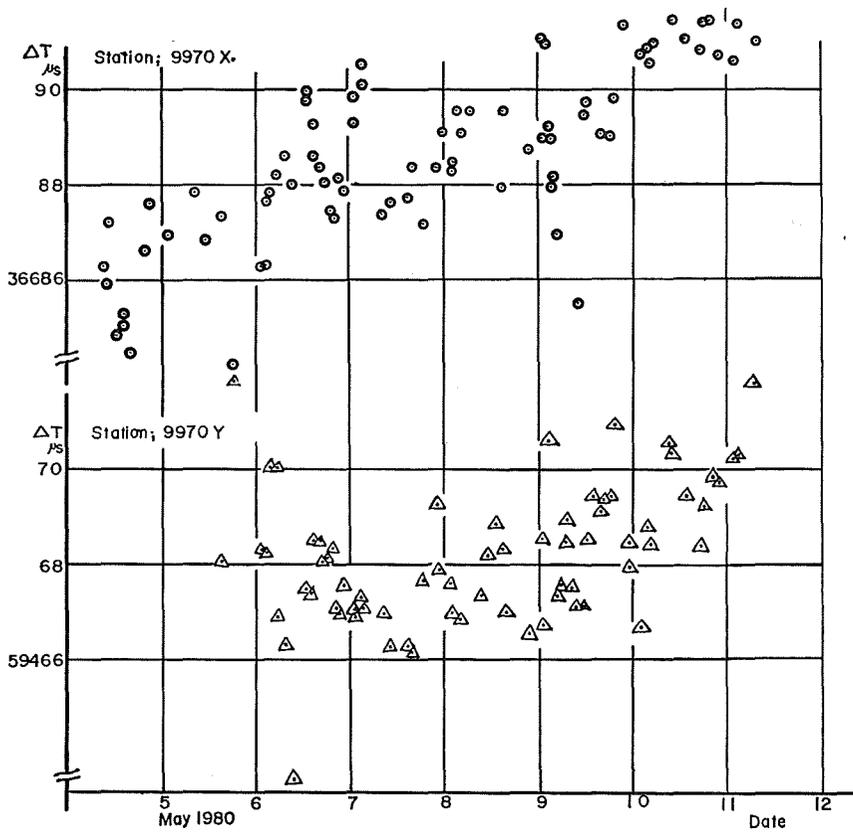


Figure 6 Phase drift of Rb. frequency standard.

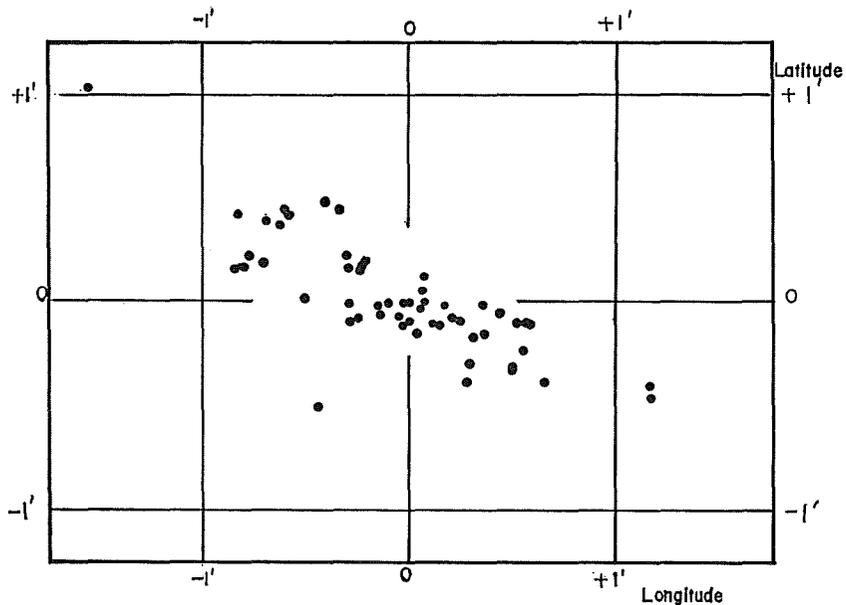


Figure 7 Comparison of the distance positioning with NNSS during navigation.

5 μ s に及ぶ長期の変動は受信側基準発振器の周波数偏差及びそのドリフトによるものと考えることができる。したがって距離航法データを、そのまま何の補正もなく経緯度変換を行えば、観測期間の始めと終わりで測位値に偏差を生じることになる。先に説明した (24) 式の定数 ΔT_0 , a , b を決定して基準発振器の周波数ドリフトによる基準パルスの位相変化を補正することは、このような誤差を生じさせないためである。

Table 2 の双曲線航法の測位値は、受信機から得られた未補正のデータを参考のために掲げたものであるが、この海域では、何の補正もなく利用すれば相当大きな誤差となることを示している。したがって高精度測位を必要とする場合には、別の何らかの方法 (NNSS, 陸測, レーダ等) の補正が必要であることがわかる。

Figure 7 は、やや特徴的な分布を示しているが、ロラン C の X, Y 局の交角と船の航走方向が影響しているものと思われる。しかしロラン C の測定値の誤差を 0.2 μ s とし、交角を考慮して距離に換算しても 0.2 海里程度であるから、この図のバラツキは大部分 NNSS 測位値によるものと考えられる。

10. ま と め

従来の双曲線航法受信機による距離データの取得法及びデータ処理法について述べたが最後に要点をまとめてみる。

- (1) 距離航法は同じロラン局の配置に対して双曲線航法より利用する局が一局少なくてもよいから、良い交角の位置の線がとりやすく、それだけ利用可能区域が拡大する (Figure 8 参照)。
- (2) 距離航法では使用する基準発振器の安定度が直接精度を左右するのでドリフト補正が不可欠である。
- (3) 距離航法では多数の NNSS 測位値の平均に合致させるための整約計算が容易である。
- (4) NNSS 衛星航法による測位は、航走中は正確な対地速度を他の手段によって求めて与えなければならないが、NNSS 測定期間中の対地速度を正確に与えることは難しく、この場合相当測位精度が低下する (時に 1 海里を越す)。
- (5) NNSS の測位精度をよくするためには、NNSS のデータを取得している期間中船速が一定であることが要求され、且つその船速が正確に与えられなければならない。この要求はロラン C 航法と併用することによってかなり満足されるが、実際に船速が変化する場合には対応できない。

11. あとがき

最近が高安定な原子周波数標準が比較的容易に入手できるようになって、ロラン C やオメガなどは、もともと局の運用にこれを用いているから、双曲線航法より広い利用区域が期待できる距離航法の導入が容易になった。しかもその有用な距離航法が、そのための特別の受信機を準備しなくても、従来の双曲線航法受信機に高安定発振器を付加する若干の改良で採用できるのである。この報告がすこしでも読者の参考になれば幸いである。最後に、この実験のデータ取得にあたった昭洋の観測科員、電卓による測位計算プログラムを完成した福島登志夫、大型電子計算機によるデータ処理、XYプロッタによる航跡図の作成までを担当した金川真一、処理プログラムの作成にあたって有益な助言をいただいた竹村武彦主任天文調査官らの諸氏に深く感謝する。また本航法の実験に使用したルビジウム原子周波数標準は、NHK 技術本部の白田州宏氏、日本電気 (株) の野中峻輔工学博士に御無理をお願いした。合わせて厚く感謝する。

なお、この実験に用いたルビジウム原子周波数標準は、最新のものではなく NHK が 1972 年の札幌オリンピックのとき日本電気の製品を導入したもので、現在 8 年が経過しているが、途中で故障することもなく、最後まで期待の性能を発揮したことを記して筆をおく。

参 考 文 献

- Kirkland, C. 1964 : "Loran Coordinate Computation", Informal manuscript report No. N-1-64, Naval Oceanographic office
- S. T. Grant 1973 : "RHO-RHO Loran-C Combined with Satellite Navigation for Offshore Surveys" IHB Review Vol. L, No. 2
- 電波航法研究会編 1975 : 電波標識, 鶴巻書店
- 古野電気 KK 1972 ; LR-3 型ロラン C 自動航跡記録装置マニュアル
- ロンボック・マカッサル海峡水路調査団 1975 : ロンボック・マカッサル海峡水路調査報告書
- 小野房吉 1980 : 二重同期による高安定位相同期受信システム, 水路部研究報告, 15, 205-211

Table 1 Examl of distance navigation data.

No.	M.	D.	H.	Min.	Obs.X	Obs.Y	Lat.(φ)	Long.(λ)
1	5	6	7	28	40765.6 ^{μs}	63319.1 ^{μs}	36° 28' 580	132° 0' 183
2	5	6	7	29	40766.3	63318.7	36 28.556	132 0.028
3	5	6	7	30	40767.0	63318.3	36 28.532	131 59.873
4	5	6	7	31	40767.7	63318.1	36 28.555	131 59.672
5	5	6	7	32	40768.4	63317.7	36 28.531	131 59.517
6	5	6	7	33	40769.1	63317.3	36 28.506	131 59.362
7	5	6	7	34	40769.8	63317.0	36 28.506	131 59.184
8	5	6	7	35	40770.6	63316.5	36 28.468	131 59.017
9	5	6	7	36	40771.4	63315.9	36 28.405	131 58.873
10	5	6	7	37	40772.4	63315.1	36 28.316	131 58.705
11	5	6	7	38	40773.3	63314.0	36 28.145	131 58.643
12	5	6	7	39	40774.2	63312.8	36 27.950	131 58.603
13	5	6	7	40	40775.0	63311.6	36 27.745	131 58.599
14	5	6	7	41	40775.9	63310.2	36 27.503	131 58.607
15	5	6	7	42	40776.7	63309.0	36 27.298	131 58.603
16	5	6	7	43	40777.3	63308.3	36 27.192	131 58.554
17	5	6	7	44	40778.4	63307.0	36 26.994	131 58.467
18	5	6	7	45	40779.7	63305.6	36 26.791	131 58.333
19	5	6	7	46	40780.9	63304.2	36 26.579	131 58.234
20	5	6	7	47	40782.1	63302.7	36 26.343	131 58.159
21	5	6	7	48	40783.8	63300.8	36 26.062	131 58.000
22	5	6	7	49	40785.0	63299.6	36 25.898	131 57.854
23	5	6	7	50	40786.1	63298.4	36 25.723	131 57.745
24	5	6	7	51	40787.2	63297.1	36 25.525	131 57.658
25	5	6	7	52	40788.6	63295.4	36 25.261	131 57.559
26	5	6	7	53	40789.7	63293.9	36 25.015	131 57.520
27	5	6	7	54	40790.8	63292.5	36 24.792	131 57.457
28	5	6	7	55	40792.0	63291.1	36 24.580	131 57.359
29	5	6	7	56	40793.1	63289.8	36 24.381	131 57.273
30	5	6	7	57	40794.0	63288.8	36 24.234	131 57.188
31	5	6	7	58	40795.1	63287.5	36 24.035	131 57.102
32	5	6	7	59	40796.2	63286.1	36 23.813	131 57.039
33	5	6	8	0	40797.4	63284.8	36 23.624	131 56.918
34	5	6	8	1	40798.6	63283.4	36 23.412	131 56.820
35	5	6	8	2	40799.8	63282.1	36 23.223	131 56.699
36	5	6	8	3	40800.9	63280.7	36 23.001	131 56.637
37	5	6	8	4	40802.1	63279.3	36 22.788	131 56.539
38	5	6	8	5	40803.2	63278.0	36 22.589	131 56.453
39	5	6	8	6	40804.4	63276.8	36 22.425	131 56.308
40	5	6	8	7	40805.5	63275.6	36 22.250	131 56.199
41	5	6	8	8	40806.6	63274.3	36 22.051	131 56.114
42	5	6	8	9	40807.7	63273.1	36 21.876	131 56.005
43	5	6	8	10	40808.8	63271.8	36 21.677	131 55.919
44	5	6	8	11	40809.9	63270.4	36 21.455	131 55.858
45	5	6	8	12	40810.9	63269.1	36 21.246	131 55.808
46	5	6	8	13	40811.9	63268.0	36 21.085	131 55.711
47	5	6	8	14	40812.8	63266.8	36 20.889	131 55.674
48	5	6	8	15	40813.6	63265.6	36 20.684	131 55.672
49	5	6	8	16	40814.4	63264.4	36 20.478	131 55.671
50	5	6	8	17	40815.2	63263.2	36 20.273	131 55.669

Table 3 Phase drift of Rb. frequency standard.

Station ; 9970X

Date			ΔT	C	$\Delta T-C$	Date			ΔT	C	$\Delta T-C$
d.	h.	m.	μs	μs	Δ	d.	h.	m.	μs	μs	Δ
			366	366					366	366	
4	9	30	86.14	86.03	+ 11	7	21	42	88.30	88.74	- 44
	10	00	85.84	05	- 21		23	30	89.04	79	+ 25
	10	36	87.18	07	+ 111	8	1	36	88.17	85	- 68
	12	22	84.76	13	- 137		1	58	88.37	86	- 49
	14	18	84.99	20	- 121		3	24	89.47	91	+ 56
	14	40	85.23	21	- 98		9	28	89.01	89.09	- 8
	16	28	84.37	27	- 190		12	48	89.53	19	+ 34
	19	20	86.57	39	+ 18		14	36	87.89	24	- 135
	21	08	87.57	43	+ 114		14	58	89.52	25	+ 27
5	2	16	86.91	60	+ 31		21	26	88.66	44	- 78
	8	20	87.79	80	+ 99	9	0	26	88.97	52	- 55
	11	30	86.77	90	- 13		0	48	91.08	53	+ 155
	15	16	87.30	87.03	+ 27		2	32	90.97	58	+ 139
	18	14	84.13	13	+ 300		4	44	89.02	65	- 63
6	1	26	86.25	36	- 111		5	28	88.90	67	- 77
	1	50	86.23	37	- 114		6	52	87.93	71	- 178
	3	14	87.55	42	+ 13		7	14	88.14	72	- 158
	3	34	87.81	43	+ 38		8	40	86.89	76	- 287
	5	20	88.17	48	+ 69		9	48	85.39	79	- 440
	7	06	88.56	54	+ 102		11	36	89.49	84	- 35
	9	18	87.94	61	+ 33		12	00	89.66	85	- 19
	12	26	89.73	71	+ 202		15	54	90.04	96	+ 8
	12	44	89.87	72	+ 215		18	00	90.00	90.02	- 2
	14	26	89.23	77	+ 146		18	50	89.77	04	- 27
	14	48	88.52	78	+ 74		21	44	91.30	12	+ 118
	16	36	88.30	84	+ 46	10	2	04	90.73	24	+ 49
	17	10	88.02	86	+ 16		3	32	90.85	28	+ 57
	18	52	87.35	91	- 56		3	50	90.56	29	+ 27
	19	28	88.29	93	+ 36		9	00	90.96	43	+ 53
	21	10	88.11	98	+ 13		9	38	91.48	45	+ 103
	22	32	87.80	88.03	- 23		12	56	91.04	54	+ 50
7	0	24	89.25	09	+ 116		16	52	90.82	65	+ 17
	0	42	89.82	09	+ 173		17	54	91.39	67	+ 72
	2	24	90.50	15	+ 285		19	40	91.41	72	+ 69
	2	44	90.82	16	+ 266		21	36	90.70	77	- 7
	8	30	87.31	34	- 103	11	0	54	90.56	86	- 30
	9	46	87.58	37	- 79		2	42	91.38	91	+ 47
	15	26	87.67	55	- 88		6	44	91.83	91.01	+ 82
	15	46	88.33	56	- 23						
	18	42	87.11	65	- 154						

Table 4 LORAN-C Signal data sheet.

NORTHWEST PACIFIC LORAN-C CHAIN GRI 9970(SS3)

STATION	FUNCTION	COORDINATES	EMISSION DELAY	RADIATED PEAK POWER	NOMINAL ECD	CSECD CSTD		TOLERANCE		GENERAL NOTES
						(μ s)	(μ s)	ECD (μ s)	TD	
IWO JIMA, VOLCANO ISLAND, JAPAN	MASTER	24 48 03.6N 141 19 30.3E		1800KW	0.0					(3)
MARCUS ISLAND, JAPAN	WHISKEY	24 17 07.9N 153 58 53.2E	15283.94 μ s	2100KW						(3)
HOKKAIDO, JAPAN	XRAY	42 44 37.1N 143 43 9.2E	36685.12 μ s	600KW	0.0					(3)
GESASHI, JAPAN	YANKEE	26 36 25.0N 128 08 56.4E	59463.18 μ s	600KW	0.0					(3) Time service monitor
YAP ISLAND U.S.A.TRUST	ZULU	09 32 45.8N 138 09 55.0E	80746.79 μ s	1000KW	0.0					(3)
LORMONSTA SAIPAN	MONITOR/ CONTROL	15 07 46.8N 145 41 38.6E				(CYCLE) (ENVELOPE)				(5), (7)
						W 2.19 15849.3		± 3	± 2	
						Z 4.04 30284.43		± 3	± 2	
NORMONSTA YOKOTA, JAPAN	MONITOR	35 44 34.570N 139 21 41.331E				(CYCLE) (ENVELOPE)				(4) Scheduled to replace LOR- MONSTA KAMI SEYA in fall of 1979
						X +.2 35469.37		± 1.5	± 2	
						Y +.4 60274.86		± 1.5	± 2	
CHANGSAN KOREA	MONITOR	35 11 26.0N 128 08 48.0E								

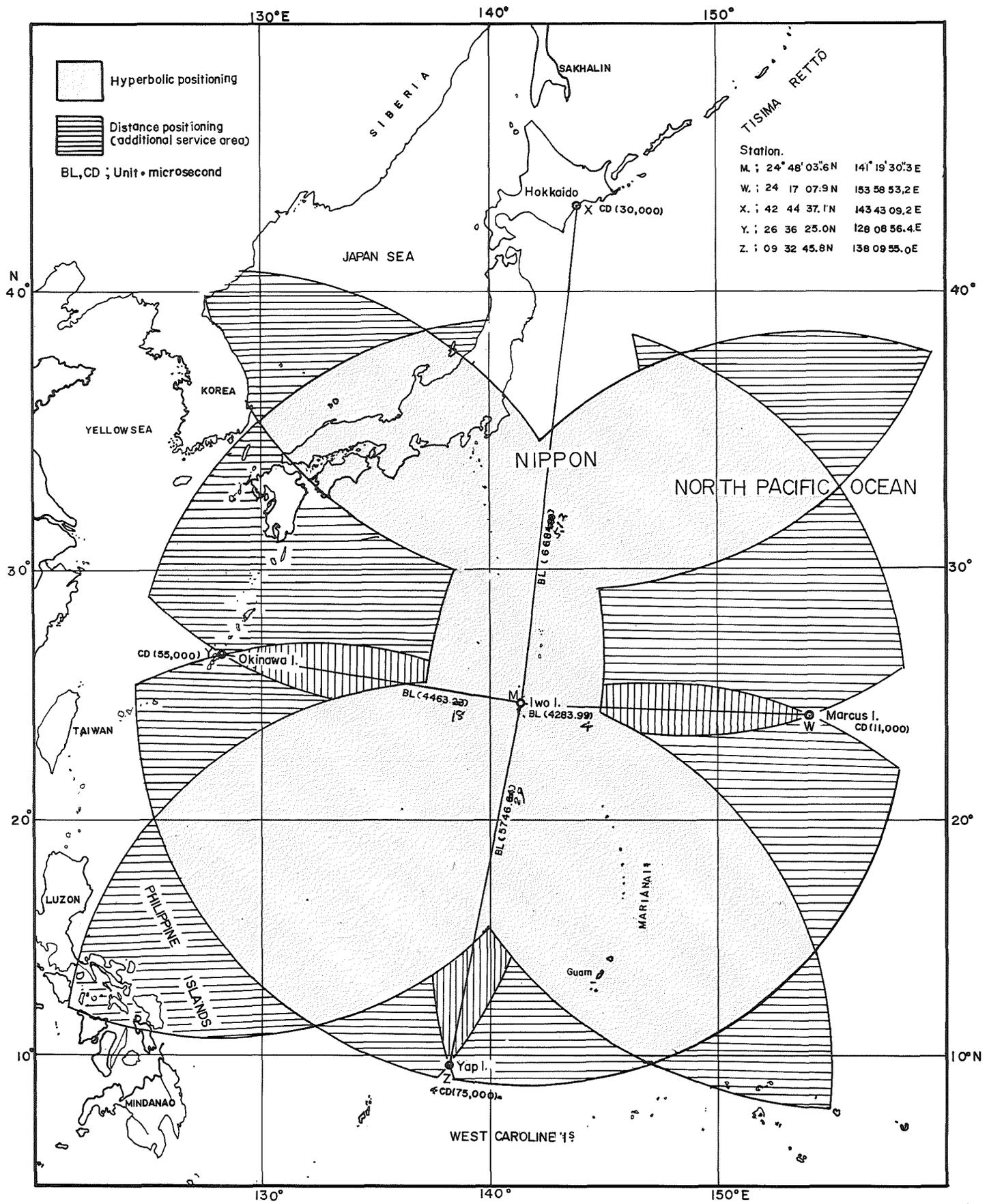


Figure 8 Service area of the north west pacific LORAN-C(9970)chain (ground wave only).