Loran Coordinates による自動航跡記録の実験

岡田 高 飯塚康雄 大沢謙一*

An Experiment on Automatic Course Plotter
Using Loran Coordinates

T. Okada, Y. Iizuka, K. Osawa

1. は し が き

大洋を航行する船舶に於てその船位を決定する場合、常時天候に関係なく測定し得る方法の一つとしてロラン電波による船位決定法があることは周知の通りである。この方法はサービスエリアが広いこと比較的操作简单であること、装置が小型である上その測定船位の精度が割合に高いこと、

価格が比較的安く経済的であること、等の利点で我国では大多数の船舶に用いられ、大洋航行に於ける絶対船位測定法として重要な役割を果している。一方最近高経済船の建造を目標として船舶の自動化への要求が高まり、機関関係の自動制御に次いで最少の燃料費で目的地へ到達するための自動操舵による航法が当面の大きな課題となつて来た。このためには常に船位を測定し、これを予定航路と比較して最適の条件で操舵に修正を加えてゆくことが必要である。その第一段階として先づ電波により自船の航跡を画かしめることが必要で、そのためには自動追尾型の受信機が不可欠のものとなる。我々は昭和35年度、運輸省試験研究補助金を受け自動追尾ロラン受信機の開発に着手し其後継続研究を続けて昨年試作機の実装テストを行つた。其時航跡記録の基礎実験として測定時間差の出力をアナログ量としてレコーダに導き、位置決定に必要な両局の時間差を直交座標として航跡を記録することを試みた。本来ならこの時間差の座標を緯度経度に直して現在用いられている海図の上に航跡を画かしめるのが理想であるが、この方式は施設が膨大となり実用上問題がある上必要な精度、信頼性を得るためには未だかなり検討の余地がある。ここに紹介するシステムは最も原理的なもので装置も簡単であるが、既に提唱されている Rhumb Line による航行は勿論のこと一般の航行に対する一つのモニタとして用いることも出来るもので、その概要を報告して関係諸氏の御参考に供したいと思う。

2. 実験の概要

実装テストを行つた海域は図2-1の通りで、試作機は海上保安庁巡視船「のじま」に搭載した。実験装置のブロックダイアグラムは図2-2に示すものでその概略は下記のとおり

図 2-1

*沖電気工業株式会社芝浦事業所（東京都港区芝浦4丁目10番地12号）

である。

2-1 実験装置

- イ) アンテナ 水平T型 水平部約30m
高さ 約15m

前後のマスト間に張られ、その中間点より同軸ケーブルで気象観測用キャビンの内部のアンテナ結合器に導かれた。

- ロ) 受信機 自動追尾型のロラン受信機で、
主局及び従局の受信パルスの振幅を自動的

に等しくする自動振幅平衡装置と受信パルス振幅を規定の大きさにする自動振幅制御装置を自動追尾の補助装置として内蔵している。その他の性能は普通のロラン受信機と大差はなく、この受信機2台によりそれぞれ2S1局及び2S2局を受信した。

- ハ) 自動印字記録装置 この部分はブロック・ダイアグラムより除いてあるが、上記2台のロラン受信機により測定されたそれぞれの時間差を測定時刻、局名と共に一定時間毎にタイプアウトするデジタル記録装置である。

- ニ) 航跡記録装置 上記2台の自動追尾型受信機のそれぞれの測定時間差に比例する偏位をXYレコーダの入力として与えた。

2-2 操作法

ここに述べる操作法は本実験に供したのが試作機であり、特に航跡記録装置の方は目下商品化を進めているものと可成り異と思われるが原理的にはほぼ同一である。以下順を追って全システムの操作法について説明する。

- 1) 従来通りの手動操作方法により2台の受信機で船位決定に必要な2つのロラン局（本実験では一方で2S1局を他方では2S2局）を受信する。
- 2) 受信された波形及びそれによる測定位置から受信電波が地上波であることを確認した後、スイッチを自動追尾に切換える。
- 3) 予め予定された航路を時間差の直交座標として画いてあるチャート用紙をXYレコーダにとりつける。
- 4) レコーダに附属している各軸位置の修正用ダイヤルを回転し、ペンの位置をそれぞれ現在受信機が示している時間差の所に合わせる。

以上の操作によりレコーダのペンが予定航路として画かれた航路上の現在位置に設定され、以後船舶の移動につれ航跡を画いてゆく。

3. 実験結果

上記の方法によつて航跡を画くことを試みてみたので、以下その結果について述べる。

3-1 航跡

図3-1、図3-2は図1-1の海域を航行した場合の航跡を示したものである。レコーダ・チャート用紙は15インチ×10インチのもので1インチ当り100 μ sの時間差である。この大きさはレコーダ・チャート1枚の連続使用時間を出来る丈長くとり、且つ記録の精度を保ちたいという点からレコーダのペンの入力に対する位置精度、及び受信機の自動追尾中の測定値のバラツキを考慮に入れ採用した大きさである。即ちこれ以上チャートの単位長さ当りの時間差量を少くすればチャートそのものの読取精度は上昇するにしても、チャート1枚の使用時間が短くなるのと

図 2-2

図 3-1

受信機による測定値のバラツキが大きく出て来る結果となる。図 3-1 の記録時間は11月 7 日午前10時20分より 8 日午前 3 時 30 分迄の 17 時間 10 分であり、図 3-2 の記録時間は図 3-1 のチャートと交換後直ぐ測定を始め同日の午後 1 時 30 分迄の 10 時間である。両者ほぼ同程度の航跡の長さであるにもかかわらず測定時間がこのように著るしく異なるのは後者の方がロラン局に接近しており、海図上での単位時間当りの距離が短くなっているためである。次に図に表れている A, B, C, D, 各点のペンの縦方向の移動はその位置で受信機が自動追尾の機能を失ったことを示し、この時刻に本船が通信のためロラン受信用アンテナを切り離した事により生じたものである。以上の図により、2つのロラン局即ち 2S1 と 2S2 を受信して得られた時間差の直交座標による航跡を見ることが出来たのであるが参考のためこれを海図上の航跡に直してみたのが図 3-3 である。この座標変換は自動印字記録装置のデータに基いて行われ、30分毎の時間差を海図上にプロットした。これより図 3-1 の場合全航海距離が 165 海里であることから平均船速が約 10 ノット、また図 3-2 の場合全航海距離が 86 約海里で平均船速は約 8, 6 ノットとなっている。

3-2 精 度

本項では得られた航跡の精度がどの程度であるかについて記述する。受信機内蔵の時間差追尾用レゾルバーの回転角とレコーダのペンの偏差とが比例するように設計されているがこの部分の機構を示せば図 3-4 の通りである。先づこの原理を簡単に記すと、図の左端のシンクロ制御変圧器に電氣的にシンクロ発振器が接続され、これに受信機の時間差追尾用のシャフトが結合されている。従つて時間差の変化に従いシンクロ発振器のロータが回るとサーボ増幅器に入力が供給される。この電圧が増幅されサーボ・モータは回転し、それに機械的に結合されているシンクロ制御変圧器がシンクロ発振器の回転角度だけ回るとサーボ増幅器の入力電圧が零となり停止する。つまり入力回転角とサーボ・モータにより回されるシンクロ制御変圧器の回転角が

図 3-2

図 3-3

図 3-4

常に1:1で対応するようになっているのである。この部分の角度誤差は ± 1 度程度であり、しかも測定値の最下位が $1\mu s$ でこの角度が36度の入力として与えられるのでこの部分の誤差は先づ問題とならない。次にこの軸の後に減速歯車があり、この比が1:10となっており摩擦クラッチを通り10回転のポテンシオメータに結合されている。この減速機構はポテンシオメータが10回転した時時間差の変化量が $1ms$ となるようにしたものでレコーダのペンはこの時10インチ即ちチャートのフルスケール移動する。この部分の精度を考えると、先づ3枚の平歯車よりなる減速歯車のバックラッシュは1度以下である。次にクラッチに滑りがないとしてポテンシオメータの直線性が 0.1% である。このように図3-4の系統の精度を考えてみると、歯車関係の誤差は殆んど問題なく、一番大きな誤差要素は最後のポテンシオメータであり、全回転(10回転)で $1ms$ である所から本機では $1\mu s$ の誤差がここで発生することになる。しかしこの後に続くレコーダチャートの読取り精度が $5\mu s$ であることを考えれば、これ以上ポテンシオメータの直線性をあげても無駄である。次にレコーダ単独の定常位置偏差、つまり分解能はこのチャートを用いた時等価的に $\pm 5\mu s$ であり、総合の精度は結局 $\pm 6\mu s$ 程度となる。所で本航海中レコーダと併用した自動印字記録装置のデータの一部を表3-1として記載するが、この中特に2S2局の測定値の方が少しバラツキを示している。この現象は図に3-1於ける縦方向のランダムな変動として表れているが、こ

表 3-1

11 07	14 32	2 s 1	02928 μs	2 s 2	02948 μs
11 07	14 33	2 s 1	02929 μs	2 s 2	02948 μs
11 07	14 34	2 s 1	02929 μs	2 s 2	02947 μs
11 07	14 35	2 s 1	02931 μs	2 s 2	02946 μs
11 07	14 36	2 s 1	02931 μs	2 s 2	02946 μs
11 07	14 37	2 s 1	02932 μs	2 s 2	02946 μs
11 07	14 38	2 s 1	02932 μs	2 s 2	02945 μs
11 07	14 39	2 s 1	02935 μs	2 s 2	02946 μs
11 07	14 40	2 s 1	02935 μs	2 s 2	02945 μs
11 07	14 41	2 s 1	02935 μs	2 s 2	02946 μs
11 07	14 42	2 s 1	02937 μs	2 s 2	02946 μs
11 07	14 43	2 s 1	02938 μs	2 s 2	02945 μs
11 07	14 44	2 s 1	02938 μs	2 s 2	02952 μs
11 07	14 45	2 s 1	02938 μs	2 s 2	02949 μs
11 07	14 46	2 s 1	02938 μs	2 s 2	02951 μs
11 07	14 47	2 s 1	02939 μs	2 s 2	02947 μs
11 07	14 48	2 s 1	02939 μs	2 s 2	02947 μs
11 07	14 49	2 s 1	02941 μs	2 s 2	02948 μs
11 07	14 50	2 s 1	02941 μs	2 s 2	02946 μs
11 07	14 51	2 s 1	02942 μs	2 s 2	02949 μs
11 07	14 52	2 s 1	02943 μs	2 s 2	02946 μs
11 07	14 53	2 s 1	02944 μs	2 s 2	02948 μs
11 07	14 54	2 s 1	02944 μs	2 s 2	02948 μs
11 07	14 55	2 s 1	02945 μs	2 s 2	02946 μs
11 07	14 56	2 s 1	02946 μs	2 s 2	02948 μs
11 07	14 57	2 s 1	02946 μs	2 s 2	02947 μs
11 07	14 58	2 s 1	02947 μs	2 s 2	02948 μs
11 07	14 59	2 s 1	02948 μs	2 s 2	02948 μs
11 07	15 00	2 s 1	02948 μs	2 s 2	02947 μs
11 07	15 01	2 s 1	02949 μs	2 s 2	02949 μs
11 07	15 02	2 s 1	02949 μs	2 s 2	02946 μs
11 07	15 03	2 s 1	02951 μs	2 s 2	02949 μs
11 07	15 04	2 s 1	02952 μs	2 s 2	02948 μs
11 07	15 05	2 s 1	02952 μs	2 s 2	02948 μs
11 07	15 06	2 s 1	02952 μs	2 s 2	02949 μs
11 07	15 07	2 s 1	02953 μs	2 s 2	02947 μs
11 07	15 08	2 s 1	02954 μs	2 s 2	02949 μs
11 07	15 09	2 s 1	02955 μs	2 s 2	02948 μs
11 07	15 10	2 s 1	02958 μs	2 s 2	02550 μs
11 07	15 11	2 s 1	02958 μs	2 s 2	02949 μs
11 07	15 12	2 s 1	02958 μs	2 s 2	02947 μs
11 07	15 13	2 s 1	02958 μs	2 s 2	02948 μs
11 07	15 14	2 s 1	02958 μs	2 s 2	02946 μs

図 3-5

図 3-6

のバラツキの状態を判りやすくグラフで示したものが図3-5と図3-6である。この場合、2 S 2局に関してはこの範囲内では時間差が殆んど変化しない方向に航行しているため測定値をそのまま縦軸にとり、2 S 1局に対しては時間差が $40\mu\text{s}/57\text{分}$ の割合で変化しているのて便宜上その最初の時間差の値を起点にとり、時間と共にこの割合で変化する値に対してのバラツキを示した。なお図3-1にはこの局に対する変動が表れていないが、これはX軸成分にその変動を含んでおり、Y軸方向の偏移が僅少であるためである。さてこのバラツキの程度を標準偏差として計算してみると、概略2 S 1局に対しては $0.8\mu\text{s}$ 、2 S 2局に対しては $1.3\mu\text{s}$ となり、又このバラツキの平均値は前者で約 $0.3\mu\text{s}$ 、後で約 $1\mu\text{s}$ と計算される。この場合の受信状態は非常に良好で、S/Nが何れも3以上であつた。次に図3-7に示されている航跡は2 S 1局（従局）よりの地上波の約 $70\mu\text{s}$ 後に強力な空間波、1 HOP-E が成長し、追尾がこれに誘い込まれた状態を表しているものである。この時の時刻は午後6時であり、従局迄の距離は約450海里で東経142度50分、北緯36度37分の位置である。この場合図からも明らかなように、地上波受信による場合よりも空間波受信の場合の方が測定値の変動が多く、精度が低下することは止むを得ないであろう。空間波により航跡を画く場合は上記図2-2の修正用摘みで予め補正を行つておく必要があることは云うまでもない。

以上で実験結果の報告の概略を終るが、実験を行つて得られた所感とこのように2局の時間差を直交座標にして画いた航跡の意義につき以下考察してみよう。

図3-7

4. 考 察

実験中一番困つた事は本船より通信のため電波を発射する期間中アンテナを使用することが出来ず、自動追尾機構が目標を失つて制御機能がなくなつて了うことである。この点に関しては実験前より予想がついていたが実装試験の目的が自動追尾中の受信機、自動周波数制御装置、自動振幅制御装置、警報装置、等の性能テストに重点がおかれていたためアンテナ回路は万全を期して通信直前に断になるようにしたので止むを得ない結果であり、目下電信の場合には間歇的にアンテナを使用するか、又はアンテナよりの入力が入らなくても出来る丈長時間信号を捕捉し得るよう検討を進めている。次に時間差直交座標の海図の意義につき記述しよう。船舶の航路は進路を時折変えることはあつてもその間の区間では直線であるのが普通であろう。この直線航路上の各点の時間差を位置決定に使用する局について求めこれを直交座標としてレコーダチャート上に画くとこれは一般に曲線で表わされる。この曲線の接線方向は常に実際の海図上の航路の角度に一致していることは明らかである。従つて実際のレコーダの記録が予定航路に対して何れの方にそれるかにより Left, Right インジケータとして使用出来ることは勿論、レコーダ・チャートとの予定航路に対する角度を測定することにより実際の角度も知ることが出来る。更にこの予定航路に対して左右何海里かの間隔で目盛線を入れておけばある時点で何マイル外れているかも知り得るわけである。このように従来のロラン電波による船位決定を土台としこの測定値を連続的に記録してゆくことにより航跡を知ることが出来るわけで、この事は予定航路を目標値として

自船の航跡をフイード・バックすることにより自動操舵の可能性を示している。勿論上記のように Left, Right, の判別信号, 予定航路迄の距離, 角度等が得られたとしてもこれらは飽く迄自動操舵の一つの資料であり, これらを直接操舵に結びつけることは危険である。この場合 Over Correction が発生し, 恐らく経済的航行を期することは出来ないであろう。我々はこの信号を用いて, 目的地迄の距離, 角度, 潮流, 風向, 風速, 船速, 慣性等航行に関するすべてのパラメータを考慮に入れたその瞬時における最適化制御を行いつつ航行して始めて経済船としての自動操舵の目的を達せられるものと思う。このような意味で本実験がその基礎としてわずかでも関係諸氏の御参考になれば幸甚である。最後に本実験に御指導と御協力を載いた海上保安庁灯台部電波標識課および巡視船「のじま」の諸氏ならびに数々のご忠告をいただいた三菱造船株式会社長崎造船所山崎博氏に深く謝意を表します。