

水中物体追跡装置の開発に関する研究

中 根 重 勝

Studies on the Development of the Tracking System for the Underwater Moving Object

Sigekatsu NAKANE

内 容 目 次

前	文	2
第 1 章	水産界において要求される測定位置の精度	3
第 1 節	概 説	3
第 2 節	操業形態別の要求精度	3
第 3 節	調査研究上の要求精度	6
第 2 章	船位測定方法の種類と精度	7
第 1 節	測定方法の種類	7
第 2 節	電波航法システムの利用状況とその測位精度	9
第 3 章	九州北西岸海域における電波航法システムによる測位精度	21
第 1 節	概 要	21
第 2 節	デッカシステムの評価	21
第 3 節	ロランCシステムの評価	29
第 4 節	レーダ距離・位置の精度	32
第 4 章	水中物体の位置確認システムの開発とその問題点	35
第 1 節	各種システム使用の現状と本システムの概要	35
第 2 節	本システムの構成と問題点	37
第 3 節	変針と曳航索の湾曲に関する基礎実験	42
第 4 節	調査船のヨーイングと基準線の方向に関する基礎実験	47
第 5 節	実験海域における船位の精度に関する基礎実験	52
第 5 章	本システムによる水中物体の位置確認とその精度	56
第 1 節	概 要	56
第 2 節	トラッキング装置による実測距離と実測位置の精度(固定点での実験)	56
第 3 節	航走中の実測距離と実測位置の精度	61
第 4 節	要 約	71
第 6 章	結 言	71
謝 辞		73
文 献		73
Summary		77

前 文

海上において船の位置を決定する方法には、山や岬などの方位を測定する方法が古くから用いられてきた。陸地が見えない大洋を航行する場合にその位置を知ることの主要な目的は、危険物を避けるという安全上の問題のほかに、目的地に向う最短コースを決定するためである。陸地の方位や天体の高度などを有効に利用する古来の航海術が用いられた時代には、航海そのものが風を利用する帆船によるもので、たとえ正確な位置が得られても、最短コースを航行することはほとんど不可能に近いことであった。従ってその位置の精度はそれほど高いものでなくてもよかった。

帆船による探険航海の時代から、汽船による海上運送のための航海の時代になると、航海日数の短縮による運航効率の向上を図ることが、海運業にとって重要な問題として取りあげられるようになった。海流や季節風などの自然条件の有効な利用と共に、最短コースの決定に不可欠な要素として正確な船位を得ることが重要な課題となった。船舶の速力が速くなるにつれて一層精度の高い位置が要求されるようになったが、大洋航海中には天体測定、すなわち天文航法以外に位置決定の方法がなかった時代には、その精度には高度測定技術と計算方式の点から限界があった。また、広い海域では視界内の危険物を避航できる程度の精度があればよく、遠距離の目的地への最短コースを決定するためには、数海里の位置誤差があっても決定針路の誤差は小さく、ほとんど問題にならない。従って通常の航海では1~2海里の測定誤差は許容範囲とされている。

第2次世界大戦中にデッカとロランAシステムが開発されて以来、各種の電波航行援助装置が次々に発表され広く利用されるようになった。これらの装置には利用範囲の狭いものから全世界的なものまであり、それぞれ長短があるが、共通した利点は全天候で24時間連続して測定できることである。これらの電波航法装置の測位精度は少くとも天文航法と同等かそれ以上であり、その連続性と相まって天文航法を予備的、補助的な立場に追いやった。

こうした新しい航法装置の測位精度について、一般商船ではそれほど高いものを必ずしも要求していない。すなわち従来の天文航法以上の精度であればほぼ満足される。

一方水産業においては、生産の場としての操業海域が沿岸から沖合、さらに遠洋へと拡大され、南氷洋からベーリング海や北海に至る全世界にわたって漁業活動が行なわれるようになった。それに伴って操業海域における位置の精度に対する要求が高くなり、より高い精度の測定方法の開発、利用が要望されている。漁場と母港の往復航海では一般商船の航海の場合と同程度の精度で充分であるが、漁場においては漁業の種類によって、はるかに高い精度が要求される。そして操業と船位測定を同時に行なう必要上、測定方法の簡素化に対する要望も高くなり、自動測定、自動記録の可能な装置が次々と開発された。海域によって異なる航法装置を用いたり、複数の装置を併用することもあり、数十トンの漁船では船橋内に所狭しとばかりに各種の装置が並べられている。これら漁船の多様な要望が漁船に装備するための小型化、軽量化と共に価格の低廉化に拍車をかけ、今日の航海計器類の著しい普及をもたらした。

かつて航海士の技量が、位置測定技術の巧拙によって評価された時代には、位置の精粗について言及することは、航海士の評価につながるものと思われ、時にはタブー視されたこともあった。殊に部外者からの位置についての評価は禁句的なものであった。しかし、電波航法装置による自動測位が可能になり、しかもディスプレイ装置に自動表示されるようになって、完全にオープンなものとなった。しかしながら、これら自動表示装置では、緯度・経度のデジタル表示や、航跡の自画も行なわれているが、その情報源としての電波航法装置には必ず誤差が含まれていることに留意すべきである。送信局からの距離、使用電波の種類、測定方式のほか、天候・時間などの自然条件によって、各装置の電波信号には固有の系統誤差と偶然誤差（本論文では系統誤差のことを定誤差、偶然誤差を不定誤差と云う）が含まれている。これらの誤差の大小と、要求精度に合致した装置を有効に利用するためには、システムの原理と誤差原因についての十分な知見をもって対処しなければならない。

近年海洋開発が進み、特に海底を対象とする資源開発や構造物の設置には著しく高い精度の位置が要求されるが、一般の航法装置では十分な精度の位置を得ることは困難であるから特殊な装置が用いられる。例えば海底トランスポンダや、人工衛星の利用でm単位、あるいは0.1 m単位の位置を決定する方法が用いられているが、これらは海上における位置と

か船位とは異質なものと云えよう。

海上を移動する船の位置は種々の電波航法装置で測定できるが、その位置の精度の評価は、基準とすべき絶対的な位置がない限り不可能である。従って陸地の三角点を基準として、各種の測量方法による測位結果と比較するのが最も高精度な評価方法である。しかし実施上の人手や器具の問題があるほか、遠距離では利用できず適用範囲が限定される。そのために陸上や岸壁などの定点での測定により、日変化や季節的な変動の知見は得られても、そこで得られた定誤差を直接海上で利用することはできない。実際には、沿岸海域で最も高い精度の航法装置とされるレーダと比較する方法が多用され、沖合では複数の装置の間で相対誤差を求め、その変化傾向を把握する方法がとられている。

電波航法装置による位置は定誤差を含み、不定誤差によって変動もするが、その最大の利点は全天候性と連続性にある。その利点を利用して海上にある物体の位置や、水中生物の位置を測定することによって、それらの移動状況や行動を把握することができる。そこで、水中物体の追跡をするため、電波航法装置を用いて、連続的にその位置を測定する方法の開発を行なった。すなわち、水中物体の相対位置を超音波によって得られる距離情報をもとにして算出する方法を考案した。水中生物の行動を追跡する方法として、電波や超音波を用いるピンガー方式とトランスポンダ方式が採用され、諸種の研究が進められている。

本研究では、超音波によるトランスポンダ方式を採用し、送受波器の1個を調査船に取り付け、他を約100mの曳航索の先端から垂下し、その間を基準線として、水中物体の位置をできるだけ正確に測定しながら追跡するシステムの開発を行なった。すなわち、超音波を利用した距離測定装置を製作し、それによる測距、測位の実験を行なった。送受波器を曳航することによって基準線を長くともことの利点は、短い固定基準線の場合より測位精度を向上させることにある。しかし曳航により、船首の振揺や変針中に基準線が湾曲する欠点もある。これらの諸問題について検討し、航法装置との併用により追跡装置を構成することの可能性を確認することができた。

本論文の構成は、まず船位に対して、水産業界において要望される精度について述べ、次いで各種の位置測定方式の測位精度と評価試験について論ずる。さらに水中物体追跡装置に利用する電波航法装置を

決定し、その有効性を明らかにするため、実験海域を中心とする九州北西岸海域において実施してきた評価試験結果を報告する。そして、水中物体追跡装置の構成と、それに含まれる諸問題について基礎実験を行なって、システム開発の可能性を考察する。次いで、開発したシステムによる距離の測定と決定位置の精度について検討し、本システムの有効性を明らかにし、さらに包含されている問題点と改良方法について言及する。

第1章 水産界において要求される測定位置の精度

第1節 概説

海上における地理位置、すなわち船位の測定は航海用のものと、漁業や海洋調査等の水中作業用のものとに大別される。一般商船では航海中の船位について、どの程度の精度が要求されるか、すなわち要求精度は船の種類や大小に関係なく、航行海域の広狭によって異なる。漁業を含めて海洋中の作業における要求精度はその種類によって差異がある。いわゆる海洋開発や地球物理学上の要求精度は著しく高い場合が多い。

水産界における要求精度は、主として漁業用と調査研究用とに分けられ、それぞれの作業内容によって高低がある。また、作業が表面付近で行なわれるか、海底であるかによっても高低がある。さらに、同じ作業であっても沿岸と沖合、あるいは水域の広狭によっても異なる。本章では漁業上と調査研究上とに分け、それぞれの業種別の要求精度について考察する。

なお、要求精度とは、いかなる条件においても満足し得る精度とすれば、誤差（定誤差と不定誤差）がゼロであるということになろうが、現実にはそのような位置を得ることは、特殊な場合のほか不可能に近いことであって、実際には要求精度とは位置誤差（定誤差と不定誤差による偏位）の許容範囲ということができる。従って以後の要求精度とは、その意味として用いる。また再現性確度とは、同じシステムを使って同一場所で以前に測定した位置（緯度・経度）と同じ位置が再び得られる割合のことを云う。

第2節 操業形態別の要求精度

1) 浮魚漁業

1) 概要

漁場の探査や魚群を探知するために、航走しながら漁場形成要因としての水温、透明度、潮目、湧昇流などの海況の指標や餌料生物の多寡などを調査して適合海域を決める。さらに目視や超音波機器によって魚群の探知につとめる。これらに関する測定データが得られた位置の要求精度は、必ずしも0.1海里のオーダを必要としない。これらのデータはミクロな変化をしないからである。一般船舶が大洋を航走中の要求精度は1～2海里でよいが（Coast Guard, 1972）、それ以上、すなわち誤差が1海里以内であれば、上記の目的に対し十分満足される。

魚群発見位置や操業位置も、主として後日の操業の参考とされるもので、目安としての価値しかない。魚群は移動するし、海潮流も存在するからである。従って、その位置は僚船や仲積船などの呼びよせ、独航船が母船のところへ戻るなどの洋上会合のために十分な精度であればよい。この場合、相手船を探知するのに、方向探知機やレーダなどの一般に装備されている機器を利用すれば、数海里の距離でも容易に確認できるから、2～3海里の誤差があっても容認される。

ただし、夜間や視界不良時で付近に他の船舶が多い場合には、相手船の識別が困難で、会合までに廻り道をよぎなくされることもあるが、お互いに同じシステムの電波計器を搭載していれば、その計器の指示する値を利用することにより、かなり解決される。

2) 浮延縄(マグロ、サケ、マス)

投入された漁具の始点と終点間が長く、数海里から数十海里におよぶことがある。操業中に海潮流に圧流される距離も数海里に達する。従って漁具設定位置は絶対的なものとはいえず、誤差が1海里以下であれば充分である。

操業中に縄の切断事故があれば、その海域の流向・流速が一定でないと、搜索が非常に困難なことがある。この場合、漁具設定時の位置よりも流向・流速の方が手掛りとなる。実際には、漁具の両端のほかに中間にもラジオブイを取りつけて、搜索を容易にする方法が用いられている。

3) 浮刺網(流し網)

漁具の長さは数海里程度であるが、やはり海潮流に圧流されるから、陸地・島礁などから十分に離れ、流されてゆく方向に危険物のない場所を選ばねばならない。このことは浮延縄でも同様である。

サケ・マス流し網のように船団操業が行なわれる

場合には、他船と一定の間隔をとる必要がある。その間隔のとり方によって操業位置の要求精度が異なるが、レーダによる距離測定を併用することが多く、約1海里以下の誤差であれば許容される。

4) 旋網・棒受網

漁場が海況によって左右されるから広い範囲にわたって魚群の探索を行なう。また魚群を発見して操業している間に圧流され変位するから、高精度を必要としない。ただし、瀬付の魚群を対象とする場合には後日の操業の参考とするため、少なくともソナーで探知できる距離以内の誤差であることが望ましい。ソナーの探知範囲は最大で約1,500 mとされているから、要求精度は約0.5海里といえよう。この場合、瀬の存在場所は音響測深機を併用すれば容易に発見できる。

アジ・サバ・サンマなどのように、灯火を用いて集魚して漁獲する場合には、魚群を追いながら操業するので、操業中の位置の誤差はあまり問題にならない。操業を終えて帰港する際の針路設定と、仲積船との会合のための要求精度は約1海里である。

5) トローリング、曳縄(カツオ、マグロ、サケ)

表層付近を遊泳する中・大型魚が対象であり、航走しながら釣獲するのであるから、他の漁法と同様にあまり高精度を必要としない。やはり、後日の参考としたり、帰港針路の決定などのための要求精度は前項と同じである。

2) 底魚漁業

1) 概要

底魚漁業では海底の形状、底質と水深が漁場形成の主な要因である。魚種によって、平坦な海底が好漁場になる場合と、瀬や曾根付近の傾斜面が好漁場になる場合とがある。

平坦な海底の場合には漁場が広く、過去の経験をもとに操業位置を選定し、そこでの漁獲結果によって同一地点を中心にして反復操業することが多い。そのために、位置誤差の少ないこともさることながら、再現性確度の高いことが必要である。

傾斜面や危険物の存在する漁場では、漁場がせまいことと、漁具の損失を回避することも重要な作業であるから、定誤差が少なく再現性確度も高い測位方法が必要で、0.1海里あるいはそれ以下の誤差であることが要求される。しかし、実際にはその値が満たされないことが多いので、魚群探知機、レーダブイ、ラジオブイなどを併用して、精度の低い点を補う方法がとられている。

2) 底曳網

海底が平坦な大陸棚漁場では、漁況が比較的安定していることもあって、季節と魚種によって経験的に漁場を選定して操業し、漁獲物の種類と量をみて漁場変更を行なうという試行錯誤的な操業方法をとる。この段階での位置情報はさほど高い精度でなくともよいが、好漁場が見つければそこで反復曳網をするので、特に再現性確度の高いことが必要である。

不定誤差が大きく再現性確度の低い場合には、標識を設置して曳網の基点として利用している。しかし、その絶対位置も期間をおいて再度操業する場合に、漁場決定の重要な手掛りであるから、できるだけ精度の高いことが望まれる。現用システムの精度は充分でないことと、海図上の危険物の位置にも誤差が含まれているおそれがあるから、危険物から少なくとも1海里以上離れて曳網するよう努めている。

急峻な斜面や曾根の附近を曳網する場合には、0.1海里の精度が要求される。実際にそれだけ高精度の位置が得られることは少ないので、常に魚群探知機の記録を監視して、水深の変化に注意し、危険物を避けながら曳網する。

連続測位が可能な航法システムであり、再現性確度が高ければ反復操業ができる。しかし、天文航法や衛星航法(NNS)などのように測定間隔が長いと、その間の海潮流や風圧のために、時間とともに位置の誤差が増大する。従って前述の標識設置のほかに、測深を加味した推定位置を求め、機会のあるたびにチェックする方法がとられる。

大型のトロール船では、魚群探知機を数台装備するのが一般的となり、なかには送受波器を真下に向けたもののほか、左右舷方向に偏向させたものを装備して、幅広く魚群を探查しながら、適宜曳網方向を変える方法もとられている。また、直下の危険物を探知したら、網の破損や減失を防ぐために、ただちにワープ(曳網用のワイヤー・ロープ)を巻込んで、網を海底より浮上させる必要がある。従って、魚群探知機の記録を注意深く監視することが、非常に重要な作業となっている。

以上のように、底曳網漁業での要求精度は0.1海里以下であることが多く、平坦な海底で操業するエビトロールの場合でも、0.5海里以下の値が望まれている。しかしながら、現状ではそれ以下の精度しか得られないシステムが多く、魚群探知機を本来の目的のほか位置確認のためにも利用し、精度の低い

点を補っている。

3) 底刺網・底延縄

海底に漁具を定置させる漁法であるが、平坦な海底の場合と曾根附近の場合とがある。底刺網は湧昇流や乱流に圧流されて損失を受けやすいから、急斜面や曾根の付近を避け、平坦な海底で行なわれることが多い。底延縄は対象魚種により、平坦な海底で行なわれる場合も、曾根付近で行なわれる場合もある。

漁具は設置した翌日に引揚げられる場合が多いが、数日から十数日間も放置される漁法もある。漁具に取付けた標識が設置場所の目印になるが、狭視界時にその発見を容易にするためや、好漁であれば反復して操業するために、位置誤差は0.1海里以内であることと共に、特に再現性確度の高い位置が要求される。

北洋におけるカニ底刺網の母船式操業では、投網船が設置した刺網を数日～半月間程度放置する。揚網時には投網地点から数海里の場所に母船が錨泊し、数隻の川崎船で揚網にあたる。網は数列～十数列が一定間隔で、陸岸に平行に入れられているから、ただ1個だけの標識を見つける場合よりは容易である。しかし、北洋特有の狭視界の中で、よく整備されていない磁気コンパス1台だけを頼りにし、ほとんど経験と勘だけで、目的の標識を発見する船頭の能力には全く驚かされる。電波計器の信頼性が必要ではあるが、その依存度が高くなると共に、要求精度も上昇してゆく。しかし、経験の積み重ねによる適確な判断と直感力を養うことが、自然を相手にする海上では今なお非常に重要であることも銘記すべきである。

4) 一本釣

カツオやブリのような表層を回遊するものを対象とする場合には、旋網漁業と同程度の精度でよい。底魚を対象とする一本釣は主として、小型漁船による沿岸漁業であるが、陸岸の見えない範囲でも好漁場となる瀬や曾根をさがし、時には錨泊して操業する。また、漂泊したまま海潮流や風圧によって偏位すると、適宜潮のほりをして漁場位置を保ちながら操業する。このようにピンポイントに近い曾根の上にとどまったり、それを発見するためには高精度のシステムが要求される。実際には、電波計器でその附近に到着したら、魚群探知機でその存在位置を確認する。そしてその地点の緯度・経度のほか、電波の到達時間差値や位相差値を記憶し、以後の資料

とする。従って定誤差が小さいこともさることながら、再現性確度の高いシステムが要求される。

上述の各種の漁業では、その漁場が他国の領海や規制海域に近接する場合には、測位システムの相違により、相互の位置誤差が紛争の原因となることもある。従って精度の高いシステムが要求されるが、少なくとも現用システムについてその精度を充分把握し、境界から充分余裕のある場所で操業するように心掛けねばならない。

3) 定置網型漁業

1) 概要

沿岸付近に設置される、いわゆる大敷網や大謀網などは、距岸数十～数百mのところの定置されるが、その位置は山立法により決定される。この様な経験的な方法でも精度の高い方位線が得られ、通常の操業にも何ら支障はない。

底刺網や底延縄のように短時日でなく、数日～数十日あるいはそれ以上の長時間にわたり漁具を定置する漁法に、シイラづけやカニかご漁業がある。

2) シイラづけ

シイラが浮遊物の蔭に集まる小魚を捕食するために集まってくる習性を利用して、海上に竹を組んだ筏を定置する。その設置場所は隣接漁具と一定の間隔を保つように指定される。指定位置への設置と、定期的に反復操業するために要求精度は0.2～0.3海里とされる。一般に岸近くの筏から一定方向へ等間隔で設置されているから、操業のときにはその方向へ航走すれば順次発見できるが、狭視界時には操業不能となるので、少なくとも再現性確度の高いことが望まれる。

3) カニかご

かごの中に餌を入れ、数日～数十日間定置した後回収する漁法である。個々のかごにつけた標識を見つけて回収するので、荒天時や狭視界になることの多い海域、特に北方海域では視認困難になることが多く、高精度の船位が要求される。米国コースト・ガードの報告では、電波航法システム利用者の要望は、0.025海里であると述べられているが、現用の各システムでは得られない値である。従って、その位置誤差は0.1海里以下であることが必要であろう。

このように海底に漁具を設置する場合も、底曳漁業と同様に海底の形状と水深が漁場形成の要因となるから、魚群探知機を併用し、測位精度の不足を補っている。従って、魚群探知機は本来の使用目的のほか、測深の面でも重要な漁具の一部として不可欠

な装置となっている。

ピンポイントを探知するためには、特に高精度の船位が要求されるが、現実には要求精度が満足されることは少なく、上記の測深に依存するほか、ラジオブイや標識灯も利用されている。しかしながら、かなり長時間設置の場合には、電源の寿命の問題があり、実用的ではない。従って、設置してから回収までの期間内における再現性確度の高いシステムが必要である。

第3節 調査研究上の要求精度

1) 生物生態の調査

回遊魚の経路、行動範囲や遊泳速度などを調べるために標識放流が行なわれ、その再捕位置や日時からいろいろな推定がなされる。その位置の精度については、魚種によって多少の差はあるものの、さほど高精度を必要とせず、一般に浮魚漁業で要求される程度で充分である。

底魚や瀬付魚などの行動、特に日周運動などの調査には、かなりマイクロな運動や行動範囲を確かめることが必要で、そのために高精度の位置が要求される。

水中物体の移動を追跡する方法として、種々のテレメトリー・システムが開発されてきたが、多くは自発信方式（ピンガー・タイプ）である。ピンガーの小型化・軽量化などの改良は著しく進んでいるが、ピンガーと追跡する船との位置関係を正確に測定することができず、船の位置とピンガーの位置は同じものとして処理されている。両者の間に数百mの距離があることが予想され、水中物体のマイクロな行動を知ることは困難である。

この種の調査は沿岸域で行なわれることが多いので、調査海域内で利用可能な測位システムの精度の把握、すなわち定誤差をあらかじめ測定しておき、測定位置の補正をすれば、より正確な位置が連続的に得られる。また、複数のシステムを用いることができれば、相互にチェックすることによって不定誤差の影響も減ずることができ、精度は高くなる。しかし、一般に利用されているシステムでは、位置誤差を0.1海里以下に見積もることはかなり困難である。たとえ良好な船位が得られても、ピンガーの位置は0.1～0.5海里程度の誤差を含むことになる。そこで、本研究では応答送信方式（トランスポンダ・タイプ）を用い、水中物体の位置を高い精度で測定し、さらに広範囲にわたって追跡が可能な、しかも簡便なシステムの開発を試みた。

2) 漁況海況の調査

漁況調査や漁獲統計による資源量推定などは、操業船の漁獲報告を資料として用いることが多い。その漁場や対象魚種によって差はあるが、それぞれの操業位置の精度はそれほど高くなくてよい。浮魚のみならず、底魚の場合でも海区単位で表現されることが多く、浮魚漁業と同じ精度で充分である。

海況については温度分布や潮目の存在場所などが重要な要素であるが、いずれもミクロな変化は少なく、幅と長さや広がりを持ち、かつ流動的であるから1海里のオーグで表わされるので、精度について特に言及する必要はない。

海洋観測においては、水塊の動向や消長について、永年にわたる観測をほぼ一定の地点で行なう必要がある。この場合、観測深度によって採水・測温等に要する時間が異なり、その間の海潮流や風圧により船位が変化する。従って、その位置精度は測位方法そのものより、所要時間内に圧流される流向と流速によって左右される。精測を要するならば、採水・測温の際にはメッセンジャーが投下された時刻に、その都度測位して観測点を決定すべきであろう。しかし、同一地点で多項目の観測をするために、長時間にわたって同一船位を保つことは不可能に近く、船位誤差の許容範囲を定め、その範囲内は同一地点とみなさざるを得ない。

3) 漁場造成整備

沿岸漁場の造成整備としては魚礁の投入事業が主なもので、年次計画により順次投入されるから、前回あるいは前年の位置が正確であることが必要である。一般には小型漁船のための漁場造成であるから、陸上物標が視認できるような近距離の場合には、山立法による高精度な位置が得られることもある。また、陸上からトランシットによる三角測量や、電波距離計を用いて正確に測定することもできる。しかし、これらの方法が利用できない場合には、電波航法装置で投入位置を決定するので、その再現性確度の高いことが望まれる。魚群の繁殖状態の調査や実際の操業には、的確にその地点に到達するのに高精度の位置を必要とする。一般に平坦で砂泥質の海底に投入することが多いから、地中に沈降して魚群探知機で確認困難なこともある。従って、その要求精度はピンポイントの探知と同じように0.1~0.2海里であろう。

4) 海底地形・水深

測深による等深線をひき、海底地形図を作製し、漁業用図として利用されている。一般海図でも水深や危険物が記載されているが、それらの存在を示す位置の精度は、場所や測定方法によって異なる。

沿岸海域や狭水道では、Hi-Fix システム(※1)やトランシット測量などが用いられるから、測深位置の精度は高い。しかし、沖合では通常の電波航法システム、天測及び推測による位置が用いられているので、必ずしも正確な水深・危険物の位置を示すとは限らないから、自船の位置の誤差と海図の誤差とが相加されることも加味して、充分余裕のある航路を設定する必要がある。

第2章 船位測定方法の種類と精度

第1節 測定方法の種類

1) 概要

従来、一般の航海において用いられてきた船位測定方法は、その手段によって分けられ、陸地や島礁など地上物標の方位や距離を測定する地文航法と、天体の高度と時刻を測定し、位置を算出する天文航法であった。

1940年代から、軍用として開発されてきた電波計器による位置測定方法が、民間に開放され普及した。その後、電子技術の発達とともに各種の電波航行援助システムが開発され、わずか20年あまりの間に著しい進歩・発展をとげた。これに伴い、新しく電波航法の分野が確立され、特に大洋航海では、天文航法に代るものとして広く利用されるに至った。

次に各航法の概要と一般的な精度について述べる。

2) 地文航法

沿岸海域において、地上物標の方位や距離を測定して船位を決定する。その代表的なものが、クロス方位法である。すなわち、コンパスで地上物標の方位を測定して得られる方位線は、その線上のどこかに船がいることから、位置の線(Line of Position: LOP)と呼ばれる。クロス方位法は複数の方位線を求め、その交点を船位とする方法である。沿岸航海で古くから用いられ、簡便で通常の航海には十分な精度であるから、今日でもなお主要な測位方法である(Fig. 1)。

その精度は物標からの距離、コンパスの誤差、測

※1 基線の短い双曲位置の線測定方式で、数mの誤差で位置が測定できる。

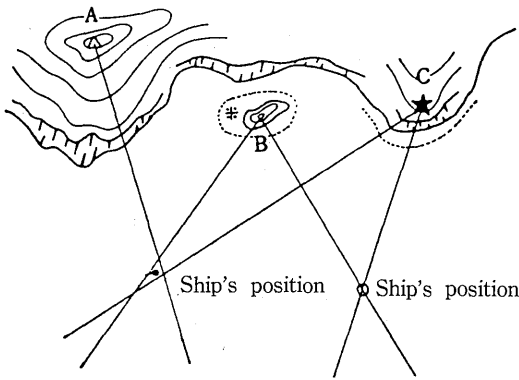


Fig. 1. Ship's position fixing by the cross bearings.

定技術および海図記入上の誤差などに左右されるが、概略0.5海里前後といわれている（平岩，1971）。精度の高い方位線として、2物標の見透しによる重視線がある。特定の場合でしか得られないが、近距離ならば10mのオーダーで、その線のずれを目視で探知できる。古くから用いられている山立法も同じ方法で、今日でも定置網の設置や漁場の選定に利用されている。また狭水道では針路目標となる重視線が得られるように、2~3個の導灯や導標を配置して、航路保安に役立させている。これをクロス方位法に利用すれば、位置の精度は著しく向上する（Fig. 2）。

視界不良時や視認距離外の数十海里的距離から、レーダで方位と同時に距離の測定も可能になった。このレーダ方位と距離を組合わせた位置決定法は、クロス方位法よりも精度が高く、測定範囲も拡大さ

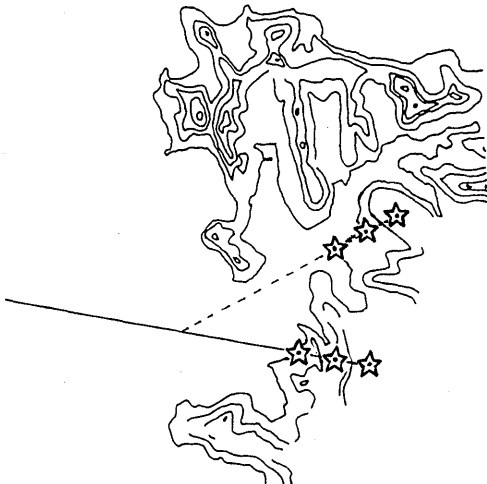


Fig. 2. Utilization of the overlapped line of leading lights.

れる。これは電波航法の一つともいえるが沿岸海域に限られるし、地文航法と同じ方法が用いられるから、レーダ航法と名付けて電波航法とは区別されている。その精度は機器の誤差のほか、映像の判別、すなわち海図上のどこが映像として写し出されているかの判断や、測定技術の巧拙によって左右され、一般に測定距離の2~3%の位置誤差を含むとされている。従って、距離が遠くなるにつれて急激に精度が低下する。

3) 天文航法

天体の高度と時刻を測定して、位置の線を計算するもので、大洋航海中には唯一の測位方法として広く利用され、天測とも称される。測定対象が天体であるから、天候と昼夜による制限があり、北洋のように霧の発生が多い海域では、一週間以上も測定不能になることも珍しくない（米田，1981）。星の測定ができるのは、ほとんど薄明時にかぎられている。太陽測定では、隔時観測のため位置の線を転移する必要があり、その際海潮流による圧流量の補正が困難で、誤差が生ずる。

この方法では天体高度の測角技術の巧拙が直接誤差量を左右する上に、計算が煩雑で間違いを生じやすいなど、人為的要因で精度が変化する（中根他，1969，高木他，1975）。一般に通常の技術をもつ航海士でも測角誤差の標準偏差は $\pm 0.5'$ といわれ、他の要因を加味した位置の誤差は ± 0.75 海里といわれる（平岩，1971）。

今日では、卓上小型電子計算機（Fig. 3）が利用されるようになって、計算ミスが減少し計算時間も短縮された。しかし、オメガや衛星航法などが開発されたので、電波航法システムの恩恵に浴さない海域がなくなって、天測の利用度は著しく低下した。わずかに電波航法システムによる位置のチェックのためや、送信局の故障のときなどに時折利用されるにすぎない。かつては大洋航海に必須なものとして、その測定技術の巧拙が航海士の技量評価の主要な要素でさえあった事を思えば、まさに今昔の感がする。

4) 電波航法

電波航法とは、電波を利用した航海計器により船位を決定し、航行の安全を図る航法である。電波航海計器は、電波の直進性、定速性及び反射性などの特性を利用したもので、次のように大別される。

(1) 無線標識局、ラジオブイや他船などからの電波を受信して、その方位のみを測定する無線方位測定機。利用範囲が150海里程度で、距離に比例

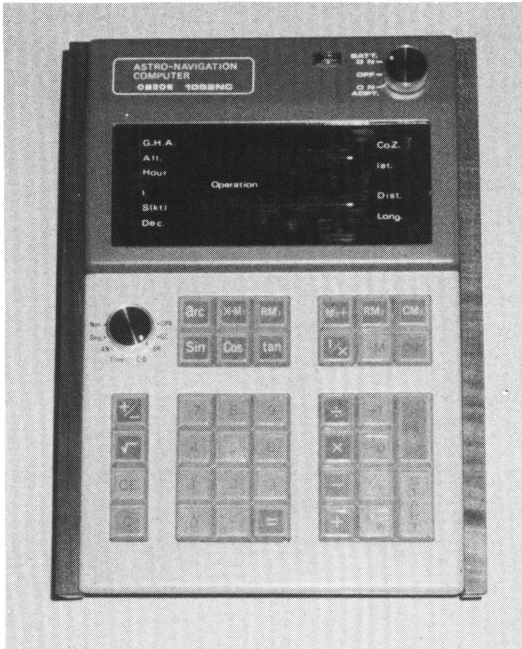


Fig. 3. The micro computer for astronomical navigation.

して誤差が増大し精度も低いので、測位よりも洋上での他船との会合、帰投針路の設定や漁具の監視・搜索などに利用されている。

(2) 自船から電波を放射し、他船や陸地などからの反射波を受信して、その距離や方位を測定するレーダ。その最大探知距離は150海里に達するものも開発されているが、距離が数十海里以上になると、陸地の映像判読が難かしくなり測位精度も低下する。一般に沿岸航海や他船との衝突回避の目的に利用されている。

(3) 一対の送信局からの電波を受信して両局からの距離差を測定し、双曲位置の線を算出して船位を決定する電波航法。双曲線航法ともいわれ、ロランA、C、デッカ及びオメガなどの各システムがある。システムによって測位精度と利用範囲に差異があり、測位精度の高いデッカは利用範囲がせまく、全世界をカバーしているオメガは精度が低くて通常2~5海里の測位誤差が含まれる(三好他, 1981, 矢吹, 1982)。両者の中間的なものがロランで、AとCの2種類がある。当初ロランAが開発され、その利用範囲を拡大し、精度を向上させるために改良されたのがロランCで、その誤差はロランAの1/5~1/10になり、利用範囲は5~10倍に拡大された

(田口, 1976)。

(4) 航海衛星からの電波を受信し、その周波数がドップラー効果により変化する状態を測定し、船位を決定する衛星航法(NNS)。全世界的なシステムで精度も高いが連続測定ができず、低緯度地方では測定間隔が2時間以上にもなる欠点がある。

このように各システムには長短があるから、使用目的と要求精度によって適切なシステムを選ばねばならない。また、電波は場所と時刻や気象条件などによって伝搬上の制約を受け、測位結果に含まれる誤差量も変化するから、複数のシステムを併用して相対誤差を求めてチェックすることも必要である。

第2節 電波航法システムの利用状況とその測位精度

1) 概要

電波航法システムには前記のごとく各種のシステムがあるが、無線方位測定機やレーダは利用範囲が限定され使用目的も異なるので、本節では双曲線航法システムと衛星航法システムについて述べる。

第2次大戦中にロランAが米国で、デッカが英国で軍用として開発された。戦後、民間でも利用されるようになり、世界各地に送信局のチェーンが増設されるにつれて広く普及していった。1950年代以降の電子技術の著しい発達に伴って、受信装置の信頼性が高まり、小型化と価格の低廉化が進むにつれて、中・小型船や漁船にも数多く装備されるようになった。

我国でも、1960年代にデッカチェーンの開設を見、1970年代にオメガ局が設置された。その間に衛星航法システムの民間使用が許可され、各種の自動受信機が開発され、ロランCも本来の広範囲・高精度の機能を発揮できるようになった。

現在では、各システムとも受信機にマイクロ・プロセッサを内蔵して、自動的に信号を検索・追尾し、緯度・経度のほか針路・速力などの航海に必要な情報もデジタル表示することができるようになった。特に漁船における普及度は著しく、長さ10m程度の小型船でさえ複数の受信装置を装備しているものもある。このことが受信装置の小型化や高性能化に大きく寄与している。

双曲線航法システムは、システムにより距離差を算出するための電波の測定方法が異なるが、いずれも電波伝搬上の諸影響を受け、それが測位誤差の原因となっている。

地表波は安定性が高いものの、海上と陸上で伝搬速度に差がある。陸上では大地の導電率や地形の

凹凸によって変化し、海上でも水温・塩分や気象条件によって差がある。陸上では地形による伝搬距離の増大や、建造物による反射波の干渉の影響を受け、位相の乱れを生ずることがある。また電界強度の減衰も著しいから、伝搬経路上に陸地があると、伝搬距離が減少し利用範囲がせまくなる。

空間波は電離層で反射して伝搬するから、昼と夜で電離層の高さが異なることや、フェージング現象の影響を受けて、伝搬距離が変化し測位誤差が増大するとともに、その変動幅も大きくなる。従って、地表波の測定に比べると精度は低いが、電界強度の減衰は少なく遠距離まで伝搬するので、利用範囲拡大の利点がある。

各システムの精度についての評価試験は、陸上定点で数多く行なわれているが、それらの結果をそのまま海上における補正值として利用することはできない。すなわち、沿岸海域では電波が海上へでるときの海岸線での屈折や、伝搬速度や位相が海上伝搬での状態に変化することなどにより、離岸距離によって測位精度が変化する。従って、沿岸海域での利用には、局地的な誤差の変動状況を充分把握しておかないと、高精度の位置は得られない。

洋上では絶対位置が得られないから、他のシステムとの相対評価しかできない。最初に普及したロランAについては、沿岸海域ではレーダ位置と、沖合では天測位置との比較が行なわれた。その後、デッ

カやロランCとの相互比較や、衛星航法の位置を基準とする評価試験が行なわれている。これらは、あくまでも相対評価にすぎないから、機会のあるごとに各種システム間の相対誤差を求め、それぞれの位置の精度について評価することが必要である。双曲線航法では、双曲線の間隔は基線（一対の局を結ぶ線）から遠ざかるにつれて、次第に発散することに注意しなければならない。基線上では時間差 $1 \mu \text{sec}$ の幅は0.0806海里であるが、双曲線の発散のため両局をのぞむ角度を θ とすれば、双曲線の幅 y は

$$y = 0.0806 \operatorname{cosec} \theta / 2$$

となる。角 θ は基線の長さとし、送信局からの距離によって決まる。基線の長さが短かければ発散が大きくなり、双曲線の誤差は基線上では小さくても、基線から離れるに従い急激に増加する (Fig. 4)。

従って、基線長を長くすることが望ましいが、両局で送信の同期をとるためには、基線の短い方が容易であり、時間差や位相差測定の精度が高い。ロランやデッカではこれらの点を考慮して局の配置が決められている。オメガでは時間基準を原子標準によって、各局で独自に制御できるようになったので、非常に長い基線を用いており、8局で全世界をカバーすることが可能となった (Table 1)。

2) ロランAシステム

1) 概要

我国では1940年代の末頃に導入され、最も広く普

Table 1. The outline of practical hyperbolic navigation systems.

	Loran A	Loran C	Decca	Omega
Coverage (N. M.)	300—700	1000—1200	200—300	7000
Accuracy (N. M.): night	1/4—5	0.1—5	0.2—2	1.0
: daytime	1/4—5	0.1—5	0.2—2	2.0
Transmitting power (KW)	100	400-3000	0.7	10
Frequency (KHz)	2000	100	70-130	10
Frequency band width (KHz)	±25	±10	±5Hz	±2.5Hz
Measurement system	pulse	pulse/phase	phase	phase
Pulse width	45 μsec	250 μsec	—	—
Display system	digital/CRT	digital	digital/needle	digital
Signal tracking	manual/auto	auto	auto	auto
Service area	adjacent of Japan	North Pacific and Atlantic oceans	Europe, Japan and south Africa etc.	all the world

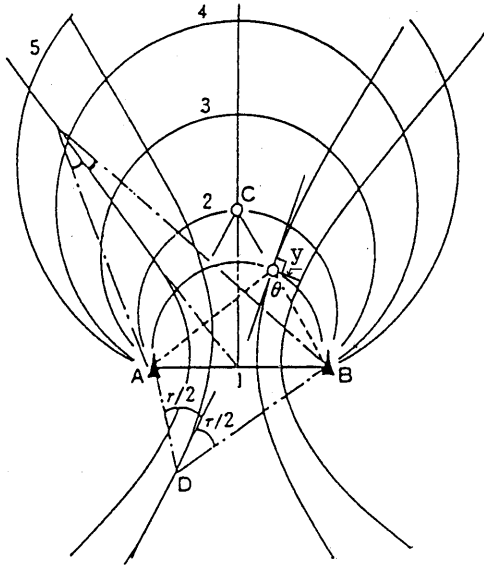


Fig. 4. Hyperbolic lines and their divergence.
 number: divergent coefficient; Y: lane wide;
 θ : intersection.

及したシステムで、特に漁船では漁具の一部のように重用されてきた。朝鮮動乱のとき、米軍が日本海と東シナ海沿岸の日本各地にロラン局を建設した。その後、海上保安庁に移管されてからも、北海道・東北のチェンが開設され、北海道の一部を除き日本列島の沿岸はほとんど利用範囲に含まれるようになった (Fig. 5)。

普及当初は、唯一の双曲線航法システムであり、

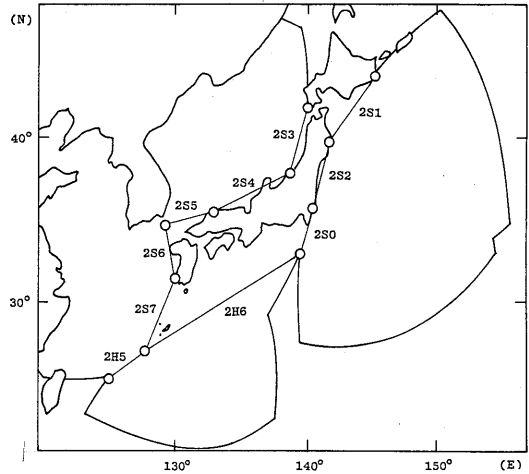


Fig. 5. The arrangement of Loran-A stations and the coverage of ground wave in the adjacent waters of Japan.

その全天候性と連続性が高く評価されて重用された (Table 2)。しかし、受信機の機械的な誤差と信号波形の手動による整合上の誤差は、時間差値で 2μ sec におよぶ。このため実用上の測位精度に対する種々の評価試験が行なわれた。

1960年代のなかば頃から、米国のロランCが利用できるようになり、A/C兼用受信機が開発された。つづいて海上保安庁によりデッカ・チェンが開設され、その後間もなくオメガシステムが全世界的な航法として脚光をあびるようになった。それに伴い、

Table 2. The ratio of Loran-A receiver-equipped fishing boats to the total, in terms of their gross tonnages, in every fifth year [by Fishery Census].

Tonnage	1963			1968			1973		
	Total	Equipment	%	Total	Equipment	%	Total	Equipment	%
5~ 10	4,710	334	7	6,580	275	4	9,196	1,044	11
10~ 20				5,554	922	17	6,404	1,685	26
20~ 50	3,948	1,553	39	3,505	2,275	65	2,203	1,535	70
50~100	2,875	1,571	55	2,803	1,703	61	3,237	2,595	80
100~	1,265	914	72	2,107	1,715	81	2,688	2,123	79
Total	12,798	4,372	34	20,549	6,890	34	23,728	8,982	38

Table 3. The relation between the probable errors of Loran A fixes and included angles by the bearing lines from measurement point to master and slave transmitting stations [by Samejima 1953].

Central error (N. M.)	Angle(deg.)	4	6	8	10	15	20	30	60	100	180
	Ground wave		3'.13	2'.17	1'.72	1'.46	1'.15	1'.01	0'.91	0'.84	0'.82
Sky wave		5'.06	3'.44	2'.63	2'.18	1'.60	1'.34	1'.11	0'.95	0'.92	—

電波航法システムの評価はこれらの新しいシステムを中心に行なわれるようになり、航海学会ではロランAの精度に関する報告はほとんどみられなくなった。

2) 評価試験

我国で普及しはじめた1950年代に行なわれた実測誤差について、鮫島(1953)の報告がある。沿岸航海中はクロス方位法やレーダによる位置を、大洋航海中には天測位置を基準にして、ロラン位置の線の誤差を求め、その中央誤差($r=0.6745\sigma$)と主従送信局をのぞむ挟み角(θ , Fig. 4 参照)の関係をあらわしたものが Table 3 である。

すなわち、挟み角が 30° 以上であればロラン位置の線の中央誤差は、地表波の場合1.0海里以下で、空間波の場合でも0.1~0.2海里大きくなる程度である。これには基準とした位置、殊に天測による位置の誤差も含まれているが、以後の実測と比較してもほぼ妥当な値と云えよう。

実際の使用状況についてのアンケート調査の報告では、169例の天測位置との相対誤差が 2.65 ± 1.94 海里(並川他, 1969)、および279例で 2.45 ± 1.46 海里(和気他, 1972)という結果が得られている。

一方、精度の向上と利用範囲拡大のために、電波の伝搬上の特性についての説明も行なわれた。地表波の測定値に変動を与える要因について、海岸の陸上定点での長期間にわたる測定や沿岸での測定結果から、電波の伝搬速度が海上では標準の値より速くなり、表面水温や塩分も影響する。また、伝搬経路の途中に存在する陸地や山岳の影響で、電波のまわりこみを生じたり、沿岸附近では電波の回復効果を生ずることなどから、測定値が変動する(田口, 1965, 松野他, 1972)。

空間波は、それを反射する電離層の高さが、短い周期で変動することにより不定誤差を生ずる。また電離層の高さの季節的变化で、夏と冬では補正值に $10 \mu\text{sec}$ の差を生ずることが報告されている(西谷他, 1964)。

3) 現況

米国では1980年末までに、すべてのロランAチェーンが廃止された。我国でも一時廃止について検討されたが、沿岸や近海で操業する中小型漁船に多用されており、受信機が低価格で装備し易い、使用方法の習熟度が高い、他システムが完備されていない等の理由で、依然として運用が継続されている。

漁船ではシステム誤差を含んだままの時間差値を、

直接利用する方法も用いられている。

例えば、東シナ海で操業する以西底曳漁船では、時間差値を目盛にして双曲線を直線化し、比例配分を容易にした海図を作製して、時間差値で操業位置を決定している。また、受信機を2台装備して、2つの時間差値を見ながら航走して漁場を決定する方法も用いられている。そのほか、視界不良時の入港針路や、帰港針路の代りに特定の時間差値がそのまま使われている。

1980年頃から、中国でもロランAチェーンが運用されていることが分り、デッカやロランCの利用範囲外にある中国の沿岸近くでは、海図やロラン・テーブルのないまま、時間差値を位置の線の代りに用いている。

上述のように、日本の沿岸や近海で操業する漁船には、依然として重要な航法システムとして重用されている。従って、受信機の改良も続けられ、信号の自動検索・追尾、時間差値のデジタル表示、および内蔵のプロセッサで緯度・経度や針路・速力を計算し、それらのデジタル表示などができる自動受信機も出現した。

3) ロランCシステム

1) 概要

ロランAよりも利用範囲を拡大し、精度の向上を図る目的で開発されたものである。電波の到達時間差を測定するために、ロランAと同様のエンベロープ(包絡線)整合で $10 \mu\text{sec}$ 単位の測定(粗測定)をし、それ以下の値はデッカと同様に位相差を測定(精測定)する方式をとり入れた。使用周波数は、遠距離まで伝搬させるために100kHz帯を用い、送信局間の距離(基線)を長くしているため双曲線の発散も少ない。

これらの利点があるものの、本来の性能を得るには受信機に電子計算機を組込む必要があり、そのため非常に高価であった。従って一般船舶用として、ブラウン管に表示される信号波形を手動で整合する、簡易型のA/C兼用受信機が開発されたが、利用範囲はさほど拡大されず、位相整合では数サイクルずれたまま測定されて $10 \mu\text{sec}$ 単位の誤差を生じ易く、精度の面でも期待はずれの感があり、普及度は低いものであった。

1970年代になり、電子技術の発達とともに、信号の自動検索・追尾の機能をもつロランC専用受信機が開発され、小型・軽量化と価格の低廉化が図られ、急速に普及してきた。殊に、連続的に船位を自画す

る航跡自画装置の開発(笠原他, 1969)により, これを併用することで, 同一海域で反復操業する漁船, 特にベーリング海におけるトロール船に重用され, 再現性確度の高いことが立証されて普及に拍車をかけた。

我国の周辺では硫黄島に主局を置く北西太平洋チェーン(従来SS3の識別符号が用いられたが, 繰返し時間間隔で呼ぶように改められ9970チェーンと称される)と, 韓国のPOHANGに主局を置くCOMANDLIONチェーン(5970チェーン)によって, カバーされている(Fig. 6)。

2) A/C兼用受信機による評価試験

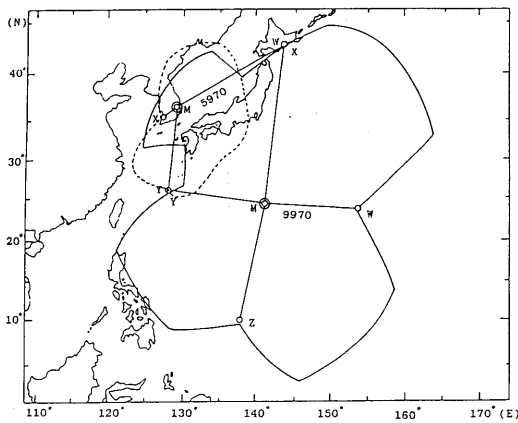


Fig. 6. The arrangement of Loran C stations and the coverage of ground wave in the adjacent waters of Japan (solid curve: 9970 chain; dotted line: 5970 chain; M: master station; W·X·Y·Z: slave stations).

陸上定点における再現性確度について, 米沢ら(1968)が芦屋市で行なった測定では, SS3チェーン(現在の9970チェーン)の時間差測定値の標準偏差は, 昼間ではXレート(※1) $0.57 \mu\text{sec}$, Yレート $0.45 \mu\text{sec}$, 夜間ではXレート $0.77 \mu\text{sec}$, Yレート $0.54 \mu\text{sec}$ であった。しかし田口ら(1968)が鹿児島で測定した結果ではYレートは昼夜とも $0.16 \sim 0.17 \mu\text{sec}$ で, 米沢らの測定よりも再現性確度が高く, 安定した値が得られている。

芦屋市におけるX-Yペア(※2)の位置誤差の平均値は, 昼間 0.6 海里, 夜間 1.5 海里で, それらの50%誤差円の半径は 0.52 海里と 0.57 海里で, 再現性

はよいものの定誤差が大きく, 特に夜間に著しく増大している。なおこれらの値には, 位置決定に際し海図記載の位置の線を拡大して転位したので, それによる誤差も含まれている。観測点が大阪湾奥部で, 従局によって陸上伝搬距離の長短があり, 夜間には空間波が増大するため, 信号波形の整合の不正確さや, 識別の難しさなどの原因が考えられる。さらに, これらの値は陸上定点における測定であるから, $10 \mu\text{sec}$ 単位の誤差を除去してあるが, 海上で, 特に航行中には信号の判別が困難になり, 測定技術の巧拙が精度を左右する一因となるのであろう(米沢他, 1968)。

ロランC電波の伝搬状態について, 南九州で行なわれた数年間にわたる測定によれば, $10 \mu\text{sec}$ 単位の誤差の発生には規則性があり, 地表波の伝搬範囲でも日出没時頃にしばしば発生する(田口他, 1968)。また, 地表波は送信局から $800 \sim 970$ 海里的地点でも測定でき, 利用範囲の限界は一様でない(田口他, 1969)。YレートのG-G値(※3)は主局からの距離によって, 定誤差が直線的に変化する。各地の定誤差から係数 [$3.2 \mu\text{sec}/100$ 海里] が得られ, Xレートの場合にも適用できる。また, 空間波を測定すれば利用範囲は拡大できるが, 空間波が反射される電離層の高さは, 季節や伝搬方向によっても変化し $4 \sim 5 \mu\text{sec}$ の誤差が予想され, 精度の底下はさげられない(田口他, 1971)。

3) C専用自動受信機による評価試験

自動受信機では時間差値を $0.1 \mu\text{sec}$, 緯度・経度を $0.01'$ 単位で, デジタル表示する。米沢ら(1978)が芦屋市の陸上定点で長期間にわたって測定した結果では, X, Yレートとも標準偏差は $0.1 \mu\text{sec}$ 前後で, 夜間のXレートが最大であるものの $0.16 \mu\text{sec}$ に過ぎず, 変動幅も $1.0 \sim 2.3 \mu\text{sec}$ であった。

合田ら(1981)が日本海南西部の海上定点で錨泊して一週間にわたり測定した結果でも, 定偏差はXレート $+1.2 \mu\text{sec}$, Yレート $+2.5 \mu\text{sec}$ であったが, 標準偏差は $0.1 \sim 0.2 \mu\text{sec}$ で安定性, 再現性のよいことを示している。しかし, 伝搬速度の変化や伝搬経路の相違による誤差が含まれているので, 船位誤差は 0.5 海里におよんでいる。定誤差の一因として, 電波の伝搬速度が, ロラン・テーブル作製に用いら

※1 主局(M)と従局(W, X, Y, Z)との組合せ。例えばM-XをXレートと呼ぶ。

※2 XレートとYレートの組合せ。

※3 主局信号と従局信号がともに地表波である場合の時間差値。

れた値と実際との不一致が予想される（田口他、1971）。陸上伝搬の場合には、地形や地質によっても速度が異なる（B. WIEDER, 1971）。このため、浜田ら（1980）の測定にみられるように、比較的狭い範囲内でも定誤差が変化し、陸上伝搬速度の補正だけでもX-Yペアによる位置誤差は 2.67 ± 1.47 海里から 0.026 ± 0.10 海里に改善されている。

4) 現況

北洋のトロール漁船の利用度は高く、操業に不可欠な装置となっているが、西日本一帯でも小型漁船に装備されるようになり、殊に黄海や東シナ海での底曳漁船やふぐ延縄漁船などでの利用度が高まっている。

米国ではロランAの廃止に伴い、本システムの送信局網が完成し、1982年以降沿岸合流海域（※1）を航行する1,000トン以上の船舶に、ロランC又は衛星航法受信機を強制装備させることになっている。

4) デッカシステム

1) 概要

英国で開発されて、第二次大戦のノルマンディー上陸作戦で利用され、測位精度の高いことが証明された。戦後ヨーロッパ各地に広く普及した。一対の送信局からの距離差を、100kHz帯の持続波の位相差を測定して求める方式である。送信局間の距離はロランA方式より短く、双曲線の発散係数が大きいことと、持続波のため空間波の分離ができないので利用範囲が狭い。

我国では北海道の日本海側やオホーツク海側では、ロランA、Cとも利用できないため、まず北海道チェーンが1965年に開設された。ついで北九州チェーンが1968年から運用に入った。その後、オイルショックやオメガ局の建設などで約10年おくれて、東北、関東および四国チェーンが相次いで開設された（Fig. 7）。当初、ロランAに代るシステムとして期待されたが、利用範囲が北海道と九州沿岸に限られていたので普及度が低かったものの、利用範囲の拡大に伴い小型漁船の利用度が高まっている。

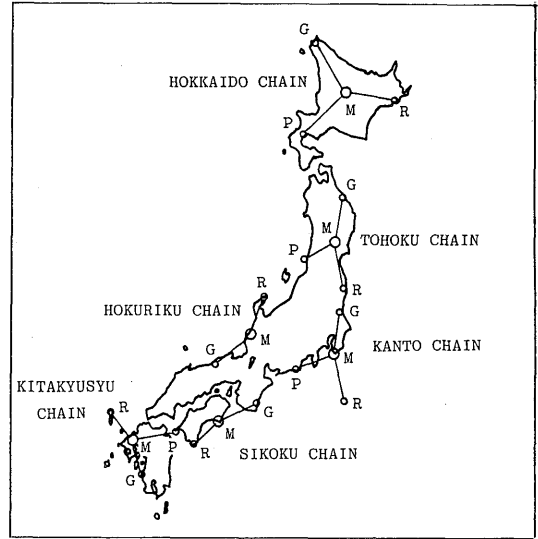


Fig. 7. The arrangement of Decca stations in the adjacent waters of Japan (M: master station; R·G·P: slave stations).

2) 評価試験

北海道チェーンは主局が美瑛にあって、基線がすべて陸上であるから、電波の伝搬速度が問題となった。鈴木ら（1968）は陸上の9測点での測定結果から伝搬速度を算出し、海上伝搬の $299.73 \text{ m}/\mu\text{sec}$ に対し、陸上では 298.23 （赤局※2）～ $299.30 \text{ m}/\mu\text{sec}$ （緑局※2）の幅があり、位相差の測定値には地域的な変動と季節的な変化がみられた。これらは伝搬経路上に山岳地帯の存在することや、冬期の降雪や結氷などに起因するものである。

北九州チェーンの伝搬速度は実測によって決定されたので、かなり改善されるが、やはり季節的な変化を生じている。佐藤ら（1979）は、赤局からの伝搬経路がすべて海上となる山口県角島で測定した結果、冬期の海上伝搬速度が $0.04 \sim 0.08\%$ 減少するので、位相差値が増大することと、日変化は最大でも $\pm 10 \text{ cel}$ （※3）程度で、その標準偏差は $\pm 2 \text{ cel}$ 程度であったと述べている。海上保安庁の陸上モニター一

※1 CCZ (Coastal Confluence Zone) で、陸地から距岸50海里まで、または大陸棚(100尋線)の端までの距離のいずれか大きい方までの範囲。

※2 主局を中心にして3従局が三角形になるように配置してチェーンを構成するのが一般的で、各従局に赤緑紫(R, G, P)の色名をつけて呼ぶ。主局と各従局信号の位相差値を、赤、緑、紫ボタンと称する。

※3 位相差値の等しい隣合った双曲線の間隔が1レーン(Lane)で、その1/100を1センチレーン(cel)の単位であらわす。1レーンの幅は位相比較をする周波数の1/2波長に相当し、基線上では赤約430m、緑約580m、紫約350mである。

での測定によれば、昼間でも各測点に固有の誤差がある。赤、緑パタンでは近接測点間に相関がみられるが、紫パタンはランダムで、レーンスリップ（1レーン単位の変動）もみられるから、その定誤差や標準偏差は期間を限定して求めないと精度が低下する。月別の標準偏差は±1～3 cel で短期間の再現性はよい。しかし、各月の平均値の変動は±10 cel 以内のことが多いものの、30 cel を越すこともあり、精度について論ずるには1 cel の単位より0.1レーンの単位を用いる方が妥当である（田口他、1971）。

陸上伝搬の速度は地形と地質によって変化し、急峻な200～500 m の山がある海岸や島の附近で不安定な伝搬をする。海上へ出て数kmの範囲で、電波の回復効果がみられるから、地形の凹凸を加味しただけの計算速度では、あまり実測値と合致しないから（渡辺・1975）、海岸でモニターした測定値から海上での補正値を求めても、適切な結果は得られない。また気象の影響も無視できず、不連続線が約100海里に接近すると位相差計の指針が変動しはじめ、測点によって差はあるが5～15 cel の幅で変動することもある（田口他、1973、山崎他、1974）。

田口ら（田口他、1971、1972、1973）は瀬戸内海で伝搬状態や電界強度などについて、一連の測定を行なった。すなわち、紫局から等距離の4測点で同時測定をした結果では、紫パタンの短期間の安定性はよく、標準偏差が小さいが、局から近距離であるにもかかわらず、夜間には±0.022海里に相当する変動が生ずる。また、夜間の定誤差は測定年によって差があり、主局信号に空間波が混入したものと考えられる。

主局からほぼ同じ方向にある3測点での測定では、主局から559 kmの神戸では緑パタンを使用できず、192 kmの弓削で夜間に変動が大きくなり、それぞれ昼夜別の地表波測定の限界附近であると推定される。電界強度の減衰はNOLTONの理論式による値より大きく、山岳と多島海域の伝搬による影響と推定されている（田口他、1974、1976）。

海上では測定点の正確な位置を決定することが困難なため、あまり評価試験が行なわれていない。著者は3個の灯台で三標両角法による基準位置の決定が可能な沿岸で評価試験を行なったが、数海里離れた測点間で、定偏差が10 cel も異なることが多い。陸地による二次的な効果と、測点によって海上経路と陸上経路の比率が異なり、特に地域的な陸上伝搬速度の変化を生ずるものと考えられる。（中根他、

1975、1981）。

デッカ社で発行されたデッカシート（1973）には、欧州の各チェーンについて、多数の海上測定における定偏差が記載してある。その値には系統的な傾向が認められないことが多く、1～2海里離れた隣接測点間でも、10 cel を越す差を生ずることがある（Fig. 8）。

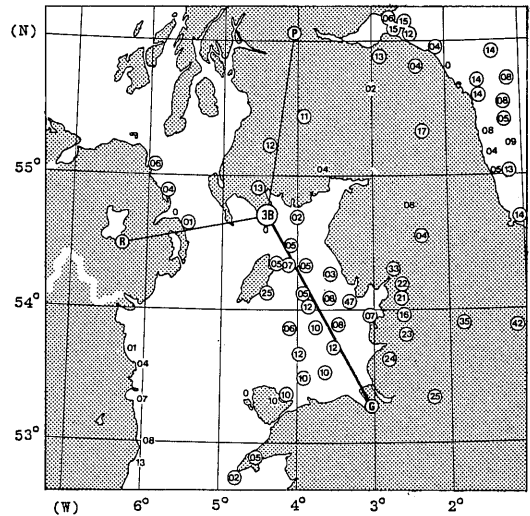


Fig. 8. Measured constant errors of Decca phase differences (Green pattern of North British chain [3B]) [by Decca sheet].

2) 現況

従来、利用範囲が限定されていたが、現在では我國の沿岸海域のほとんどが利用範囲となって、利用者は増加しつつある。しかし、当初云われたよりも精度が低く、特に定誤差が0.1海里のオーダーであり、海域によっては、ロランCよりも位置誤差の大きいこともある。さらに、夜間でも昼間と同様な精度の範囲は狭く、受信機がレンタル方式でかつ料金が高いことが普及の妨げになっている。しかし、ロランAに比べ精度は一桁高く、殊に短期間の安定性、再現性のよいことと、受信機が自動化され、緯度・経度のデジタル表示や航跡自画器の併用が可能など多くの利点があるので、価格の問題さえ解決されれば、一段と利用度の高まることが期待される。

5) オメガシステム

1) 概要

10kHz帯の超長波（VLF電波）が、電離層と地球表面で構成される導波管内を、非常に遠距離まで伝搬する性質を利用したもので、8送信局で全世界をカバーできるから、天文航法に代る全世界的、全天候的なシステムとして期待されてきた。

当初は過度の期待感により、受信機のめざましい普及がみられたが、今日では長所短所の理解がなされないまま、システム自体への不信感が潜在化して、利用度は著しく低下した。その理由としては、伝搬モデルが不完全で、伝搬補正表 (predicated Propagation Correction tables: PPC表) の補正値の精度が底いことと、その表から補正値を算出する方法の煩雑さなどが考えられる。

1966年に実験局が試験電波を放射した頃から、北米周辺海域では各種の評価試験が行なわれて、PPC表の改補が行なわれた。その結果、昼間1海里、夜間2海里の値が公称精度として発表されている。

我国でも、対馬に送信局が設置される頃から、VLF電波の伝搬に関する研究が進められ、陸上定点での長時間連続測定や海上での測位結果の評価が行なわれた (Fig. 9, Table 4)。

2) 陸上定点における評価試験

電波の伝搬について、郵政省犬吠電波観測所でC局の13.6kHz信号をはじめ各局の信号を測定し、伝搬特性や異状伝搬の発生頻度について研究されている (石井他, 1975)。また、田口ら (1977, 1979) は鹿児島において、東西方向へ伝搬するC局信号のサイクル・ジャンプの出現時刻帯と信号パタンの特性について明らかにした。

また坂本らにより函館において各送信局からの10.2

kHz信号について、その測定結果からもとめた補正値 (測得補正値という) のパタンの調和解析、再現性の検討や測位結果の評価が行なわれた (坂本他, 1975, 1976)。函館では、3本の位置の線を用いると120組の組合せが得られ、そのうち95%確率円の半径が2海里以下になるものが25組ある。しかし2本の位置の線を用いた場合はA-HとC-Eによるペア (※1) のみである (平岩他, 1981)。

測位精度はPPC値の精粗、伝搬経路や位置の線の交角などによって左右される。従って多数の測定点で連続測定を行ない、資料の蓄積と解析が必要である。

測位精度向上の一手法としてディファレンシャル方式、すなわち、陸上定点で測定した結果からPPC値を決定し、海上の船舶に通報して補正値として利用する方法がある (Fig. 10)。東京で測定した補正値を函館で利用した場合、A-Cで4cec (※2)、A-Dで1cec、その組合せによる位置の誤差は0.5海里であった (伊藤, 1976)。また北海道沿岸の海上で、函館で得られた補正値を用いたら、測定点と函館間の距離が10海里増すごとに1cecの割合で誤差が増加した (米田他, 1977)。

浜田ら (1973) は東京湾において、陸上で測定した補正値を用いて算出したオメガ位置とクロス方位法による位置との比較をした。位置誤差の標準偏差

Table 4. Call signs and positions of Omega stations.

CALL SIGNS	POSITIONS	CODES
OMEGA (A) NORWAY	66° 25' 12" 62N, 13° 08' 12" 52E	ALDRA
OMEGA (B) LIBERIA	6° 18' 19" 11N, 10° 39' 52" 40W	MONROBIA
OMEGA (C) HAWAII	21° 24' 16" 78N, 157° 49' 51" 51W	HAIKU
OMEGA (D) NORTH DAKOTA	46° 21' 57" 29N, 98° 20' 08" 77W	LA MOUR
OMEGA (E) REUNION	20° 58' 27" 03S, 55° 17' 23" 07E	LA REUNION
OMEGA (F) ARGENTINA	43° 03' 12" 89S, 65° 11' 27" 36W	GOLFO NUEVO
OMEGA (G) AUSTRALIA	38° 28' 52" 53S, 146° 56' 06" 51E	WOODSIDE
OMEGA (H) JAPAN	34° 36' 52" 93N, 129° 27' 12" 57E	TSUSHIMA

※1 オメガ送信局は、地名の他にA~Hまでの記号であらわすことが多い。A-HはA局とH局による位置の線、A-HとC-Eのペアは両位置の線の組み合わせによる位置をあらわす。

※2 同位相差の隣合った双曲線間の幅をデッカと同様にレートと呼び、その1/100の単位がセンチ・サイクル (cec) である。

は、位置の線の組合せ方によって差があり、1.1~1.9 海里的範囲であったと報告している。

この方式の実用化のためには、陸上から補正値を伝達する方法とそのための装置の開発や、陸地からの距離の変化に伴う誤差の変化についても十分な評価が必要である。しかし本方式の利用範囲は陸上測点から約 200 海里までとされており、大洋中では利用できない。沿岸でもロランやデッカの利用可能な海域では、あまり有効な方法とはいえない。

3) 海上における評価試験

田口ら (1970, 1972) は太平洋航路の貨物船に乗船し、オメガ信号の位相差値と電界強度を測定した。その結果各位置の線の誤差は 1 海里以内で、A-C の位置の線の誤差は夜間の方が昼間よりも小さかった。船位誤差は昼間でも少なくとも 0.5 海里以上で、日出没時頃には 2~3 海里以上となる。オメガ信号の伝搬経路上やその附近で、地磁気嵐が発生すると、位相記録が変動し誤差の原因となる。この現象は長周期で 9 時間も継続した例もある。短時間の信号擾

乱はオーロラ・ヒス (Aurora hiss) によるもので、この間信号は中断され測定不能となる。また急始位相異常 (SPA's : Sudden phase anomalies ※ 1) の発生は電界強度の記録から、全航程中 55 回におよび 2~15 分間継続した (田口, 1974)。

他システムとの相対誤差については、長尾 (1975) がベーリング海でロラン C による位置と比較した結果、A-D と A-C のペアによる位置には 1.4 ± 2.27 海里的の相対誤差があった。また、米田ら (1979) は日本からオーストラリアへの航行中に、C-H と E-H のペアによるオメガ位置の測定を行ない、衛星航法による位置との相対誤差が 3 海里以内となったのは 202 回の測定のうち 87.6% であった。

広範囲にわたる測定結果としては、矢吹ら (1981, 1982) が練習船の遠洋航海中に行なった測定がある。その結果、南大西洋で 3.7 ± 1.7 海里、インド洋で 1.7 ± 1.0 海里、大太平洋の Area 9, 10 (Fig. 9) で 2.0 ± 1.2 海里であった。さらに三好ら (1979, 1981) は実際の利用実績について、タンカーを主とする一

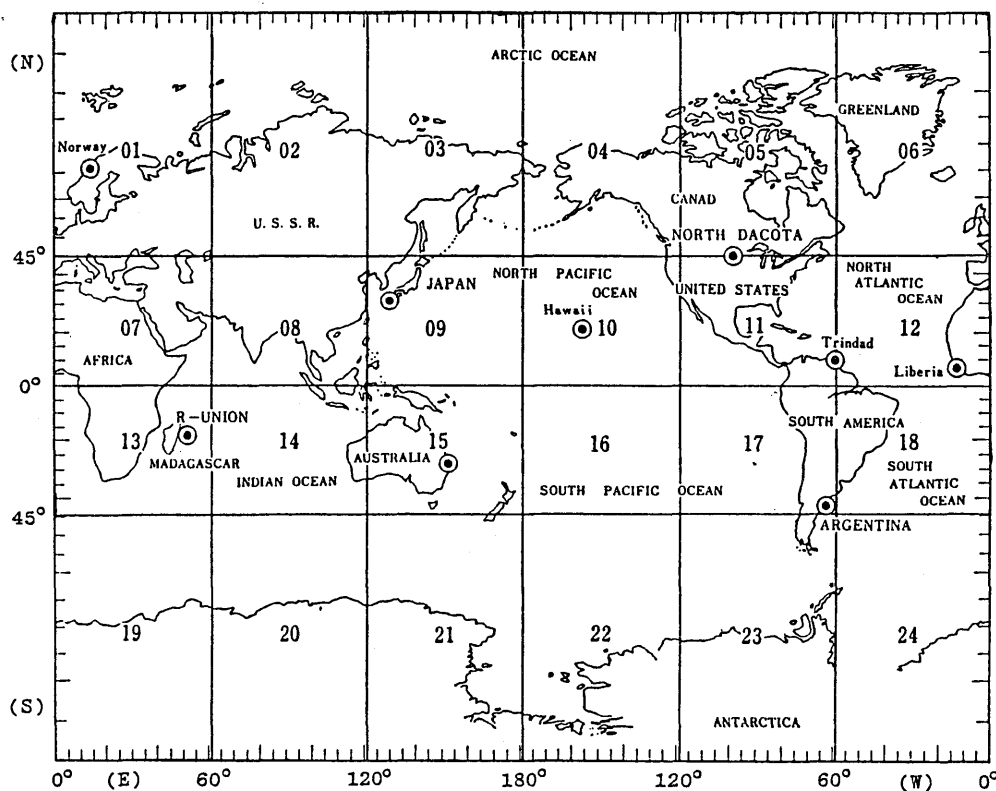


Fig. 9. The arrangement of Omega stations and the area codes.

※ 1 太陽爆発で X 線が増加し D 層の電離が進み、VLF 波の反射高さが低下する。

般商船が、南北大西洋、インド洋およびペルシャ湾などで測定した結果をまとめた。その結果は海域によって差があり、誤差の小さかった Area 13でも、535 回の測定で相対誤差が 3 海里以下のものは 71% で、平均値と標準偏差は 2.0 ± 1.5 海里で、いずれも公称精度より低い精度であった。

これらの結果は、基準とした位置の誤差を含んでいるし、同じ Area でも受信した局の違いもあるが、大洋航海中の精度の目安として用いることができよう。

4) 現況

1982年にオーストラリアのG局が運用を開始して、全世界的な利用が可能となったが、利用者は少ない。

漁船の利用度が低く、一旦装備しても取外した船が多い。特に沿岸や近海で他のシステムが利用できる範囲で操業する船や、高精度の船位を要求する底曳漁船ではほとんど利用していないが、南半球の大洋中で単独操業するトロール漁船で利用されている。しかし、これらの多くは衛星航法と併用し、相互の欠点を補い合う利用法、すなわちハイブリッド方式(※1)を採用している。

マイクロコンピュータを利用して、補正値を自動的に算出し、緯度・経度をデジタル表示する方式の受信機も開発されているが、精度が低いという先入観が普及の妨げとなっている。しかしながら、精度はやや劣るものの、全世界的で連続性という利点を

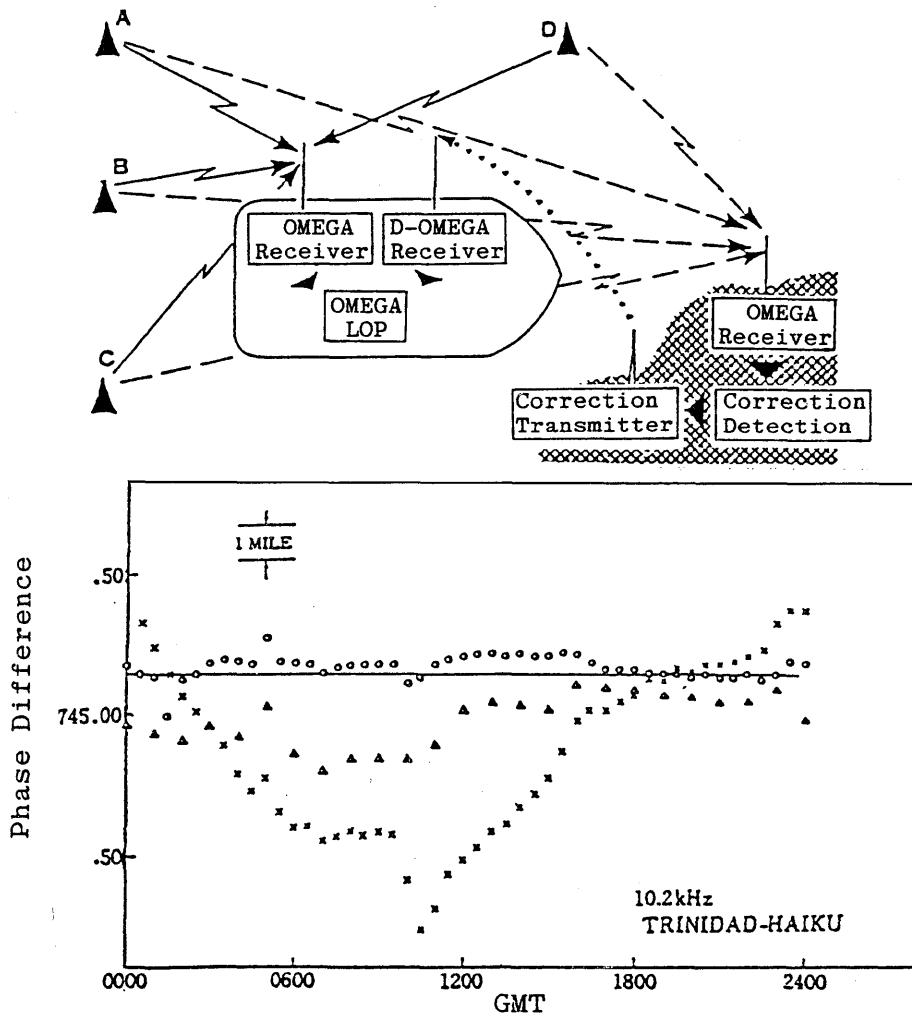


Fig. 10. The formation and the operation of a differential Omega system (×: received values; open dot: differential correction value; triangle: propagation correction value) [by Taguchi 1983].

※1 1～2時間間隔で得られる衛星航法の位置を基準として、相対誤差を補正値として用いる。

過少評価することなく、また過大評価もせず、理論的、基礎的な知見をもって、有効な利用を図るべきである。

6) 衛星航法システム (NNSS)

1) 概要

人工衛星を航法に利用することは、1957年にソ連の人工衛星スプートニク1号の追跡中に、ドップラ効果により送信周波数に変化することが発見されたことに始まり、1964年に米国海軍のシステムとして完成した。その後、1967年に民間の使用が許可され、全世界的で自動的に高精度の船位をもたらすシステムとして急速に普及した。

軌道上の位置が明らかな衛星までの距離を一定間隔で測定し、軌道上の2点からの距離差が一定な双曲面が、地球の表面と交わる曲線を位置の線として船位を求める方式である (Fig. 11)。電波が電離層を通過する際に屈折するため、距離誤差を生ずる。その補正値を得るために、衛星から 150 MHz と 400 MHz

の2周波の電波が送信されている。しかし、2波用受信機は高価になるため、一般船舶用として400MHz1波用受信機も開発された。精度は多少低下するが、他のシステムに劣らぬものであり、かつ安価になったので急速に普及し、広く利用されている。

衛星は地上約 1,000 km の極軌道を運行しており衛星数が 4 ~ 6 個であるから、測定間隔が長くて連続的な測位ができず、低緯度地方では 2 ~ 3 時間の間隔となる。また航行中の利用には、その針路と速度に誤差があると測位結果に誤差を生ずることや、衛星の最大仰角が 10° 以下や 75° 以上の場合には位置誤差が著しく大きくなる、などの欠点がある。

2) 陸上定点における評価試験

我国では1960年代の末頃から、固定点における評価試験が行なわれている。木村ら (1970) は1波用受信機を用いて定点で1ヶ月間の測定を行ない、測地系の変換 (*1) をしなくても平均位置誤差は北

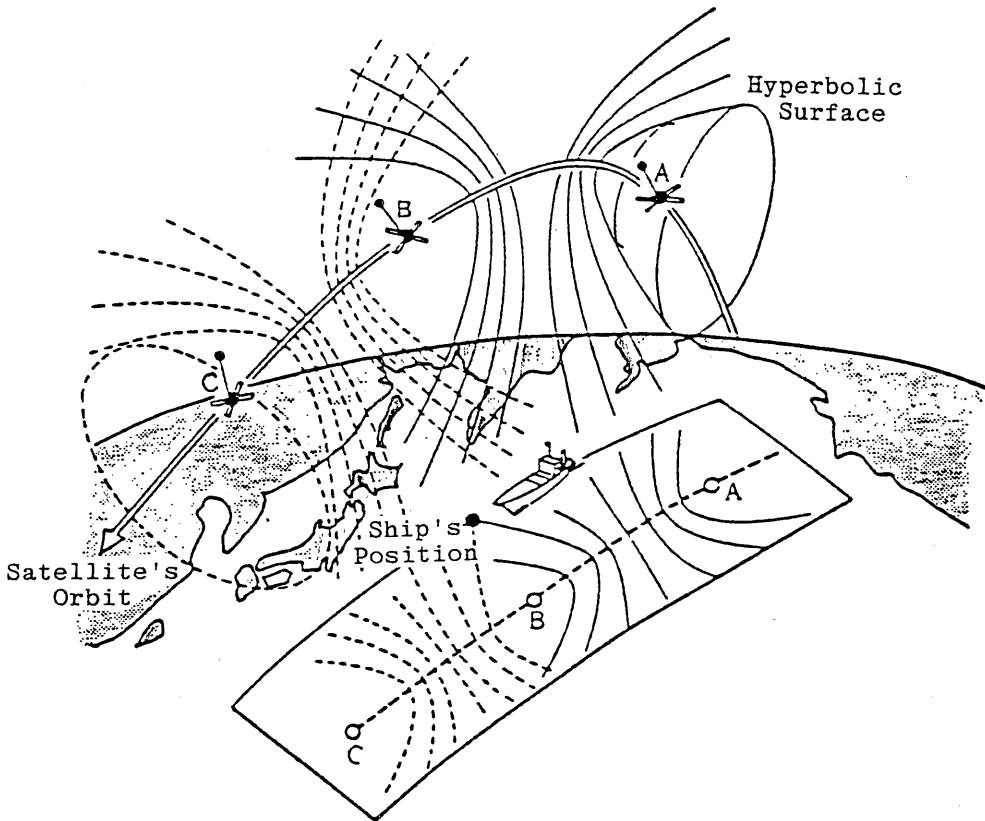


Fig. 11. Ship's position fixing by the satellite navigation system.

*1 地球の長半径と偏平率は測者によって差があり、我国では Bessel 楕円体を用いて海図を作製しているが、衛星航法では人工衛星で測定した WGS-72 の測地系が用いられているので、両者の差を補正することをいう。

西方向へ約600mで、半径900mの円内にほとんどの測位結果が入る、と報告している。

その後、1波受信と2波受信の比較、ロングドップラとショートドップラ方式(※1)の比較や誤差の原因解明に関する多数の報告がある。例えば、木村ら(1974)が東京で測位した結果、1波受信では放射状距離の標準偏差が140m、68%円の半径は216mであるが、2波受信では、それぞれ75mと156mに減少している。

一方システム改善のために、軌道計算のための諸要素が改良され(樽美, 1977)、水路部から測地系変換図(海図6019号)が刊行されるなど、精度の向上が図られた。すなわち、樽美ら(1977)が神戸で測定して測地系の変換を行なった結果、2波受信の場合平均位置誤差は北5m、西10mで、距離11mにすぎなかった。また緯度方向と経度方向の標準偏差は56mと38mで、1波受信の場合のそれは71mと162mであった。

1波受信でも全般に公称精度の標準偏差0.3海里(約557m)より小さい値であるが、夜間より昼間の誤差が大きく、電離層通過による屈折の影響を受けている。特に衛星の最大仰角が大きいと誤差が急増する。最大仰角が80°では、緯度・経度誤差はともに夜間の4~5倍になり、60°でも2~4倍で、特に緯度誤差が増大する(木村, 1973)。

地球の重力の分布によって変化するジオイドの高さ、アンテナの高さや船速などの誤差も測位精度を左右するが、いずれも最大仰角の高いほど著しく影響する(木村他, 1971, 奥田他, 1979)。軌道要素は実測値をもとに予測計算を行ない、衛星の記憶装置に転送されるが、その精度は高く、誤差は数十mといわれている。測位計算には衛星軌道の横方向の変化量が組込まれていないが、そのために生ずる誤差は、緯度で $0.15 \pm 0.11'$ 、経度で $0.44 \pm 0.22'$ であった(奥田他, 1979)。

さらに精度を向上させるために、いろいろな研究が行なわれている。すなわち電離層通過による屈折効果を、見かけ上の高さの変化に置換えて補正値を求めたり、2波受信により求めた補正値を、近くで1波受信による測位に利用するディファレンシャル方式などで、誤差を1/2~1/3に減少させること

ができる(木村他, 1978, 樽美他, 1980)。また、2波受信機を用いて実測データからジオイド高さを算出し、測位計算に利用すれば位置誤差は緯度-13~9m、経度-6~7.5m、高さ-17.5~5mという高い精度で、測量用としての使用も充分可能である(木村他, 1976)。

3) 航走中の評価試験

大洋中では本システムより高精度な測位方法がないので、評価試験はあまり行なわれていない。大洋中で直航航路上の推測位置からの偏位により、定誤差0.38海里、標準偏差0.68海里が得られている(西野他, 1972)。各種の測位方法との相対誤差を求め、測地系の変換をしないでそのばらつきは ± 0.58 海里であった(樽美他, 1979)。

天文航法との比較では太陽測定で2.67海里、星の測定で1.91海里的値が報告されている(安田他, 1973)が、この値は本システムの精度というよりも、天測による位置の精度ともいえるもので、興味深い結果である。

遠洋海域を航行する一般商船に対するアンケート調査の結果では、大洋中では測地系の変換ができなくても0.2~0.3海里的誤差であるから実用上問題としていない。しかしジオイド高さについては60%の人が、海域に応じて変更しており、精度向上に留意している。

4) 現況

本システムの最大の欠点は1日に測定できる回数が中緯度でも十数回にすぎないことである。その欠点を補うために、オメガやロランCとハイブリッドして、衛星航法位置を受信する度にオメガやロランC位置を補正し、次の受信までそれらのシステムによる位置を連続的に表示する方式である。

南半球ではオメガとのハイブリッドだけであるが、北洋海域ではロランCとのハイブリッド方式が用いられ、特にトロール漁船に広く利用されている。ロランCとのハイブリッドにはプロッタを併用して、操業位置とともに曳網した航跡も記録させて、反復操業に役立てている。

大洋中で操業するまぐろ延縄漁船にとっては、たとえハイブリッド方式を用いなくても天測の数倍の頻度で、しかも高精度の位置が簡単に求められるこ

※1 ドップラ効果による周波数偏移の測定時間が2分間のものがロングドップラで、その時間を1/2~1/4としたものがショートドップラである。

とから、非常に重用されている。非連続性の欠点はあっても、高精度に対する要望が満たされるので、オメガよりはるかに高い普及率である。さらに連続測定が可能な衛星航法システムとして、NAVSTAR/GPS (※1) の開発が進められており、漁業者からも大きな期待が寄せられている。

第3章 九州北西岸海域における電波航法システムによる測位精度

第1節 概要

本研究では水中物体の位置を測定しながら追跡するための基準位置として、電波航法システムによる位置を利用する。基準位置に誤差があると、それがそのまま水中物体の位置誤差にプラスされるので、利用するシステムの実験海域における精度の評価をしておく必要がある。実験海域として長崎港外の伊王島沖付近を設定したが、その海域を含む五島灘周辺や壱岐水道付近において、各種の電波航法システムの評価試験を、十数年にわたり実施してきた。

長崎県の対馬にはロランA、デッカおよびオメガの各送信局があり、双曲線航法のメッカともいわれている。また韓国の南東部の POHANG に主局をおくロランCの COMAND LION チェン (5970 チェン) が開設されて、日本海南部から対馬海峡を経て東シナ海東部に至る海域は、現用されているすべての電波航法システムの利用可能な範囲である。以下に著者が実施してきた各システムの測定評価の経過をのべる。

1) 特に地域的な特性の強いデッカシステムについては北九州チェンが開設されて以来継続的に測定を行ってきた。

2) ロランCシステムについては当初使用されていた手動式のA/C兼用受信機では、北西太平洋チェン (9970チェン) の地表波を受信できなかったが、信号自動捕捉・追尾式受信機が開発されてX従局、Y従局と主局の信号を受信できるようになったので、逐次両チェンの評価を行ってきた。

第2章に述べたように各種の電波航法システムにはそれぞれ長短があるが、本研究で用いる船位セン

サとしてはデッカとロランCシステムが適すると考えられる。従って本章では両システムの精度を明らかにし、有効性について考察するため、陸上定点と九州北西岸海域の海上における評価試験の結果について述べる。

なお、ロランAシステムは陸上では2S6レート(対馬局と鹿児島県野間池局)が受信できるのみで、測位精度の評価ができないことと、海上でも従来の手動による受信波形整合方式の受信機では、整合技術に個人差が含まれやすく、精度が低いので省略する。オメガシステムも補正值に含まれる誤差が大きく、本研究のような高精度を必要とする測定には適しないので省略する。

各システムの陸上定点における精度については、数多くの測定結果によりほぼ解明されているが、海上における実測位置の精度については基準位置の決定が困難なことや、測定上の個人差が混入することなどのためあまり行なわれていない。沿岸海域における評価にはレーダ位置を基準位置として行なわれることが多いので、レーダによる測距・測位の評価試験も実施した。

第2節 デッカシステムの評価

1) 陸上定点における測定

陸上定点における測定は(1)長崎港内と(2)長崎大学で行なった。以下それらの結果を述べる。

1) 長崎港内での測定は長崎大学練習船長崎丸の定係地、元船岸壁において同船の受信機(MS-1A型)を使用して、1970年秋から1971年秋まで、毎月3日間の昼夜連続測定を行なった。各従局信号の昼間における偏差(デッカ・テーブルによる値と実測値との差)の平均値(定偏差)と標準偏差は、赤パタン 17.3 ± 2.8 cel, 緑パタン -3.8 ± 1.6 cel および紫パタン 10.7 ± 3.6 celであった。月別の標準偏差も赤・緑パタンは1~2 cel, 変動の大きい紫パタンでも3 cel程度で、短期間の安定性、再現性は良好であることを示している(Table 5)。

元船岸壁(A)の1年間の測定結果と、そこから約1kmの松ヶ枝岸壁(C)で1971年4月に、三菱造船所の乾ドック内(B)で同年7月に測定を行なった結果より、各パタンの定偏差とその変動幅をFig. 12に示した。各測点間の距離は1km前後しか離れていないが、

※1 静止衛星を24個打上げて、地球上のどこからでも常に3個以上の衛星の電波を受信できる様に配置する。各衛星から常時発射される信号を測定し、ロランやデッカシステムと同様に2本の双曲線を計算し、その交点を船位とする。地球上のどこでも連続的に測位できる衛星航法システムである。

Table 5. Monthly mean values (M : lane) and standard deviations (S : meter) of Decca readings on Motofuna wharf in Nagasaki Harbour (N : number of data).

Date	Red						Green						Purple					
	Day		Night		Day		Night		Day		Night		Day		Night			
	N	M	S	N	M	S	N	M	S	N	M	S	N	M	S	N	M	S
70 Nov.	120	+0.190	+1.4	93	+0.180	+4.0	120	-0.036	+0.9	91	-0.036	+1.3	120	+0.135	+4.4	96	+0.068	+37.1
Dec.	117	0.202	0.9	108	0.202	4.0	120	0.040	0.9	108	-0.046	2.0	113	0.113	1.5	108	0.012	39.3
71 Jan.	144	0.197	0.9	108	0.176	5.7	144	0.018	0.6	108	-0.017	1.5	144	0.076	2.7	108	-0.021	30.2
Feb.	141	0.200	0.6	106	0.208	4.3	138	0.018	0.5	104	-0.021	1.7	144	0.136	4.1	108	0.172	33.9
Mar.	144	0.182	1.0	108	0.162	5.8	144	0.024	0.4	108	-0.030	2.3	144	0.077	3.0	108	0.119	27.9
Apr.	143	0.199	1.1	108	0.194	5.4	129	0.037	0.5	108	-0.035	2.0	135	0.111	1.5	108	-0.008	31.4
May.	143	0.160	1.0	108	0.167	3.1	144	0.055	0.8	108	-0.053	1.4	144	0.098	2.4	108	0.156	37.2
Jun.	96	0.166	1.4	108	0.158	4.5	90	0.058	0.8	108	-0.045	1.1	96	0.094	2.9	108	0.166	25.0
Jul.	144	0.141	1.1	106	0.139	2.9	141	0.054	0.5	107	-0.048	1.3	137	0.103	1.7	107	0.181	33.4
Aug.	nil			nil			nil			nil			nil			nil		
Sep.	137	0.122	1.2	107	0.131	4.5	143	0.054	1.3	108	-0.049	2.0	144	0.126	4.5	107	0.082	27.5
Oct.	143	0.146	0.8	108	0.151	5.4	144	0.039	0.8	106	-0.040	1.9	144	0.122	3.0	105	-0.045	22.7
Total	1,472	0.173	2.8	1,164	0.170	5.1	1,471	0.038	1.6	1,162	-0.038	2.0	1,475	0.107	3.6	1,169	0.081	32.3

定偏差は測点によりかなり増減している。すなわち松ヶ枝岸壁では緑パタンの定偏差が数倍になり、紫パタンは極性が反対になっているが、周囲に大型クレーンがあり、近くの岸壁に大型船が係留されていたドック内では、赤パタンの定偏差、変動幅とも小さくなっている。このように測定点が港内で、しかも周囲が山に囲まれているため、地形や構造物による影響を受けやすく、また各電波の到来方向によって位相変化の現れ方が異なるものと考えられる。従って、陸上定点における定偏差をもって、その附近の海上における補正值とすることはできない。

なお、赤・紫パタンはともに送信局が遠距離であるから夜間には空間波が混入し、特に紫パタンの標準偏差は昼間の10倍にもおよび著しく不安定になる。赤パタンの標準偏差は3~6 cel ではあるが、測点附近では1 cel 当りの距離が0.01海里に相当するから(緑パタンは0.004海里、紫パタンは0.008海里)、測位精度におよぼす影響は他のパタンより大きい。

2) 長崎大学航海学教室において、1983年3月から1984年2月まで、毎月1回10分間隔で24時間測定を行なった。使用受信機はデッカ社製MK-21型で、各パタンの位相差値(Lane)を測定し、同時にセナー

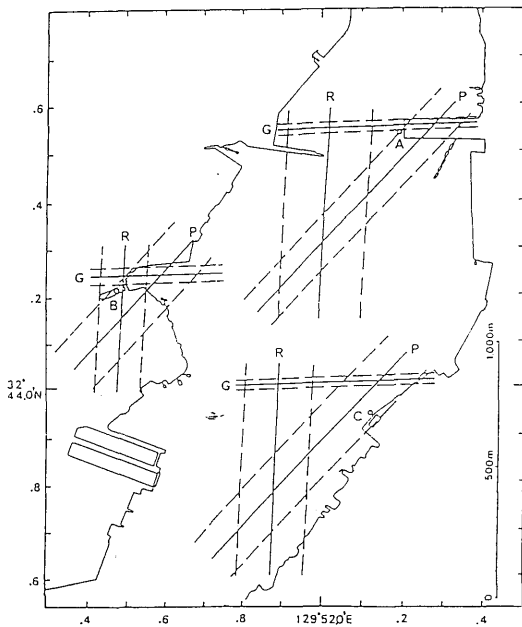


Fig. 12. Systematic errors (solid lines) and accidental errors (dotted lines) of Decca readings of Kitakyushu chain on three stations in Nagasaki Harbour (A: Motofuna wharf; B: Mitsubishi shipyard; C: Matsugae wharf).

社製DP-80型プロセッサ(位置計算処理装置)による緯度・経度もプリンタで記録した。

各月の測定結果を昼夜別に区分して、それぞれの平均値と標準偏差を求めてプロットしたものがFig. 13, 14である。なお昼夜の区分は日没時を基準として、その前後各1時間の間は日出没過渡期として除外した。昼間では各パタンとも標準偏差が4~7月の間は最も小さく2~4 cel で安定しているが、赤と紫パタンは秋・冬期には増大し7~10 cel となる。平均値の最大最小の幅は紫パタンでは15 cel に及ぶが、他のパタンは4 cel にすぎない。夜間には赤、緑パタンとも標準偏差が2倍近くになるが、紫パタンは著しく増大して、時にはレーン・スリップ(1レーン単位の変動で、指針が1回転する)も生ずる。赤、紫局から受信点までの距離は100 km以上あり、空間波が同時に受信されるために位相変化を生ずる。しかし赤局からはほとんど海上を伝搬して来るのに対し、紫局からの経路は九州を横断するもので、その上1,000 m以上の山岳が存在するので地表波の減衰が著しいから、空間波の強弱によって位相変化が左右される。従って紫パタンは夜間には常に指針が大きく振れて、ほとんど安定せず使用不能である。

3) 誤差の平均値は港内の測定にみられるように、わずかに数km離れた地点でもその周辺の状況によって差があり、その位置誤差をもって海上の補正值とすることはできない。しかしながら、第1回の測定以

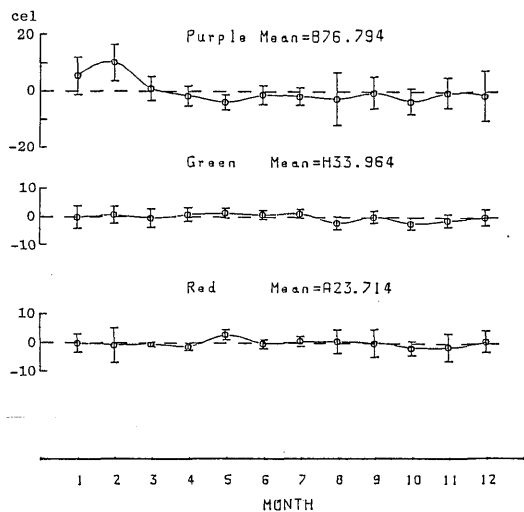


Fig. 13. Monthly mean values and standard deviations of Decca readings of Kitakyushu chain in the daytime on land station, Nagasaki university in 1983.

後に開発されたプロセッサを併用し、その位置を同時にプリントしたので、その昼夜別の月別平均値を、各従局の組合せ（ペア）についてプロットしたものが Fig. 15 である。昼間では R-G と G-P ペアの位置は同程度のばらつきを示し、いずれも緑パタンが年間を通じて安定しているから、赤または紫パタンの月別変動によって東西方向のばらつきがみられる。真位置（⊕：測定点）からの偏位は G-P ペアの方が少ないから、補正をしないで使用する場合には R-G ペアよりも真位置に近い。すなわち、より確からしい位置が得られることになる。しかし、夜間には R-G ペアの位置は昼間とほとんど差がないのに、G-P ペアの位置は P パタンの著しい変動によって、東西に大きく偏位し、その幅は 0.5 海里以上に達する。従って昼夜を通じて安定性の高い R-G ペアが一般に使用されている。位置の誤差は位相差の誤差と位置の線の交角に左右されるから、2本の位置の線がほぼ直交する R-G ペアの方が位相差の誤差の影響が小さく、R パタンのレーン幅が広くても G-P のペアと同程度のばらつきに収まっている。P-R のペアは位置の線の交角が約 20° にすぎないために平均位置の偏位は大きいものの、昼間のばらつきは少ない。

平均偏位量は位置誤差の傾向を示すのみで、月別の平均位置は後述のロラン C のそれよりもばらつきが大きく、数ヶ月以上にわたる長期的な安定性に欠ける。このことは電波の伝搬経路上の自然条件によって、その位相が変化することを示している。すなわち、伝搬経路上の大地導電率が晴雨によって変化することや、前線の接近や台風の襲来などによる気圧の急変が伝搬速度に影響することなどが原因と考えられる。

2) 沿岸海域における測定

1) 長崎県南西部の五島難沿岸海域に 10 測点 (A~J 点) を設定し、1973 年から 1974 年にかけて 4~5 回の定点測定を行なった (Fig. 16)。測点の位置をできるだけ正確に決定するために、顕著な 2 物標 (主として灯台) の見通し線上に船を止めて、第 3 の物標との水平角を測定した。各物標の位置と測角値から船位を算出し基準位置とした。各測点において見通し線上をほぼ等間隔で移動し、3~4 回測角すると同時にデコメータの値を読取った。デコメータの読取値とデッカテーブルによる計算値との差を定偏差とし、各パタンの組合せによって得られるデッカ位置と基準位置との差を偏位量とした。

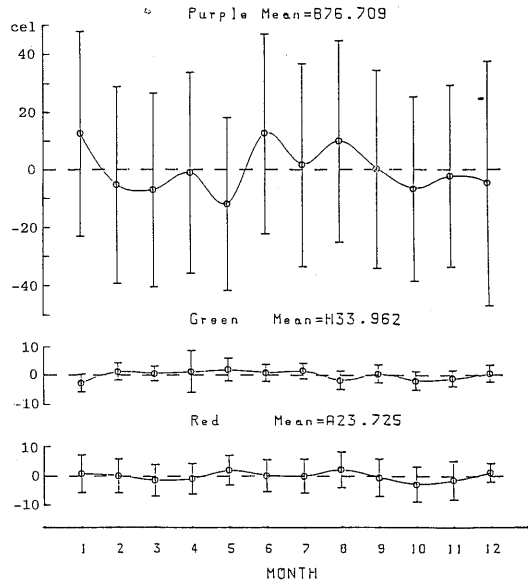


Fig. 14. Monthly mean values and standard deviations of Decca readings of Kitakyushu chain at night on land station, Nagasaki university in 1983.

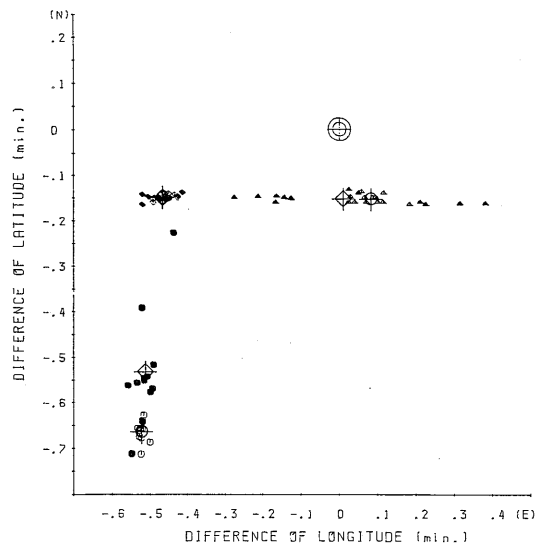


Fig. 15. Monthly mean differences of Decca fixes of each pair at land station, Nagasaki university in 1983 (rhomb: Red-Green pair; triangle: Green-Purple pair; dot: Purple-Red pair [open marks are the results in the daytime and solid marks are the ones at night], open rhomb with cross: yearly mean fixes at night; open dot with cross: yearly mean fixes in the daytime; double circle with cross: station).

定偏差は測定時期によって10 cel 以上の変化がみられ、わずか数海里しか離れていない隣接測点間で20 cel 前後の相違がみられる場合もある (Table 6, Fig. 17)。従って各測点の定偏差は一定せず、緑ボタンは測点間の差が大きく、紫ボタンではマイナスの値になることが多い。各測点の標準偏差は1~7 cel で全般的に陸上定点の測定よりも大きくなっている。これは測定が数ヶ月にわたって行なわれたことによる季節的变化と、基準位置決定上の誤差も含まれていることを考慮すれば、陸上定点での結果とあまり差がなく、安定性と再現性は良好であるといえる。

測点を地理的条件によってG 1~G 3の3グループに区分し、各ボタンの定偏差とそれを距離 (m) に換算したものを Fig. 18に示す。北側のG1で定偏差が小さく、ことに紫ボタンがマイナスの値であるのは離岸距離が長い陸地の影響が少ないことによるものと考えられる。南側のG 3では赤ボタンのレーン幅が、G 1より約30%広いので、定偏差はG 2より小さくても、メートル換算すればG 2とほぼ同じ値になる。紫ボタンは定偏差が小さく、緑ボタンはレーン幅がせまいから緑・紫ボタンの組合せ (G-Pペア) による位置の偏位が最も少ない。各ボタ

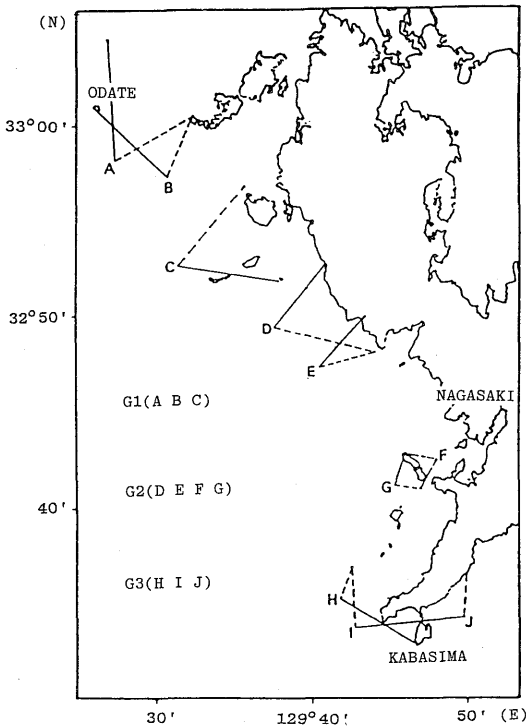


Fig. 16. Location of Decca (kitakyushu chain) measuring sits at the sea of Goto.

ンの位置の線の方向は緑ボタンがほぼ東西、赤ボタンは南北に近いが紫ボタンは北東~南西であるから、2本の LOP を組合せる場合に交角の点からは赤・紫ボタンの組合せ (R-Gペア) が最適である。紫ボタンは定偏差こそ小さいものの、安定性は赤ボタンより劣り、特に夜間は変動が著しくて利用できない。従ってこの海域ではもっぱら、R-Gペアが利用されている。

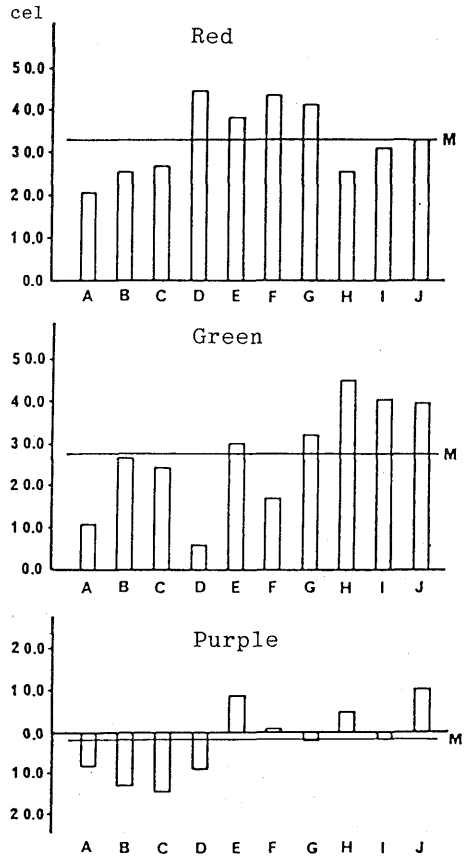


Fig. 17. Systematic errors of Decca readings at the sea of Goto (M: mean value).

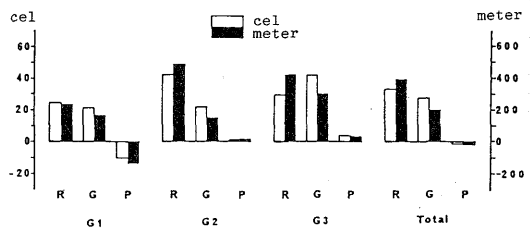


Fig. 18. Systematic errors of Decca readings in each measuring site group.

Table 6. Monthly systematic errors, mean values and standard deviations of Decca readings at the sea of Goto (in centi-lane).

Pattern	1973	1974					Standard
Station	Oct.	Apr.	Jun.	Aug.	Nov.	Mean	deviation
Red							
A	16.3	23.1	21.6	23.3	17.8	20.4	2.8
B	21.3	20.9	32.6	25.6	27.2	25.5	4.2
C	22.3	24.8	30.0	28.3	25.7	26.2	2.6
D	40.9	51.1	48.5	42.8	38.2	44.3	4.8
E	36.1	35.4	42.3	46.0	31.4	38.2	5.2
F	39.4	46.2	44.5	41.1	46.2	43.5	2.6
G	37.3	40.3	44.0	43.4	40.8	41.2	2.2
H	21.3	30.5	32.1	24.0	19.3	25.4	5.0
I	18.0	36.8	36.8	31.4	31.5	30.9	6.9
J	29.3	35.2	33.0	33.1	nil	32.7	2.0
Green							
A	12.0	11.6	9.7	12.6	13.0	11.8	1.0
B	28.7	25.0	19.0	30.7	31.7	27.0	4.6
C	21.0	27.0	25.3	25.0	22.6	24.2	2.2
D	8.4	3.1	8.0	8.5	2.4	6.1	2.8
E	27.8	31.3	32.8	29.4	31.6	30.6	1.4
F	16.6	20.4	16.2	17.9	15.9	17.4	1.7
G	30.2	33.4	32.2	31.4	34.6	32.4	1.4
H	44.2	47.1	45.8	49.2	40.8	45.4	2.8
I	49.1	44.3	36.8	36.5	37.3	40.8	5.0
J	39.1	42.1	40.1	38.6	nil	40.0	1.4
Purple							
A	- 5.8	- 6.6	- 5.9	-10.3	-13.9	- 8.5	3.0
B	-16.3	- 3.8	0.7	-16.6	-15.5	-10.3	7.2
C	-14.7	-12.9	-11.4	-17.2	-16.6	-14.6	2.2
D	- 6.0	- 1.4	- 4.3	-17.1	-16.4	- 9.0	6.5
E	9.5	9.9	12.3	11.1	3.1	9.2	3.2
F	- 3.5	4.8	2.2	7.7	- 1.5	1.9	4.1
G	- 4.1	- 5.1	- 0.3	- 0.7	- 1.5	- 2.3	1.7
H	4.6	8.5	5.8	7.5	0.3	5.3	2.8
I	7.1	- 5.9	- 9.1	- 6.4	- 0.1	- 2.9	5.7
J	7.5	12.6	8.6	14.0	nil	10.7	2.6

R-Gペアの平均位置は南へ0.11海里、西へ0.26海里で、203°方向へ0.28海里偏位し、1σ誤差円の半径は0.09海里であった (Fig. 19)。しかしこのペアでは南と北で緑パタンの定偏差が著しく相違し、赤パタンのレーン幅が大きく変化するので、精密な測定に利用する場合には、もっとせまい範囲の補正值を使用すべきで、上記の値は一応の目安となるにす

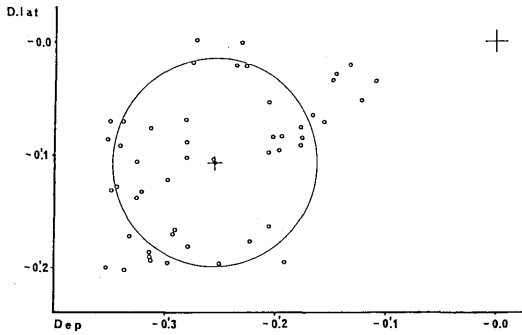


Fig. 19. Decca fixes by Red-Green pair at the sea of Goto and error circle with 1σ (standard deviation) radius.

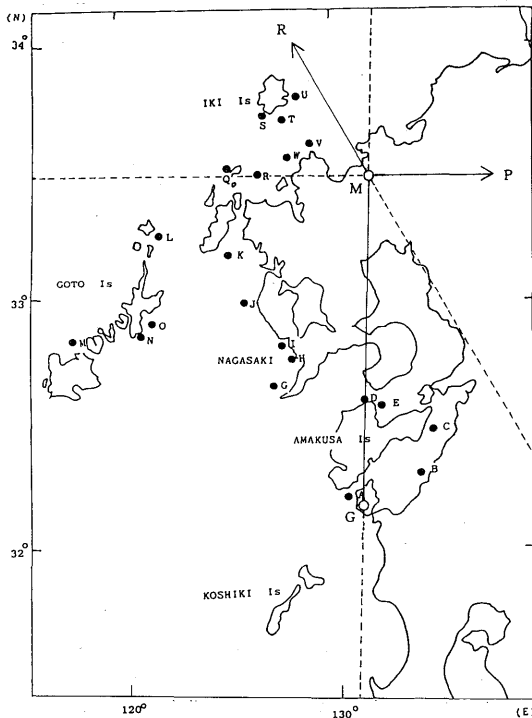


Fig. 20. Location of Decca (Kitakyushu chain) measuring sites at the coast of Nagasaki Prefecture (solid line: base line; dotted line: base line extension; M: master transmitting station; R, G, P: red, green, purple slave transmitting station).

ぎない。実際の利用ではデッカテーブルは市販されておらず、デッカ海図により船位を決定するので、記入上の誤差を生じ易いことと、海図の縮尺によっては緯度・経度を0.01'単位で読み取るのは困難であり、システム本来の精度が得られないことがある。1980年に自動的に緯度・経度をデジタル表示できるプロセッサが開発されたが、その表示値の精度についての評価が必要となった。

2) 評価試験海域を拡大し、更にプロセッサによる位置の精度を把握するため1980年から1981年にわたり測定を行なった。基準位置の精度をあげるとともに測定点をふやすために、3個の灯台の水平挟角を測定する三標両角法で基準位置を決定した。測角誤差や個人差と時間のずれによる誤差をできるだけ少なくするために、船を船首尾錨泊で固定して、二人で交互に2~3回宛測角し、同時にデコモータの値(位相差値)とプロセッサの表示する緯度・経度を各ペアについて記録した。測定海域は天草島の周辺から五島灘を経て壱岐水道東部に至る九州北西部の沿岸海域である (Fig. 20)。

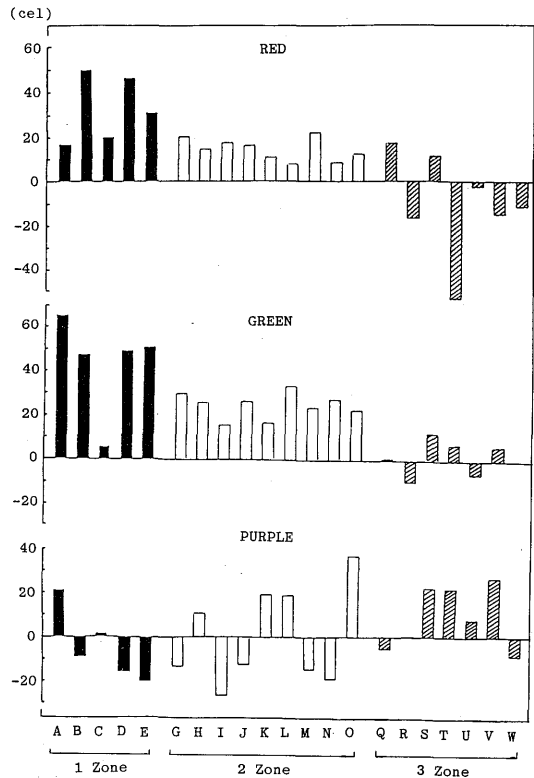


Fig. 21. Systematic errors of Decca readings in each measuring site (each site divided into three zones).

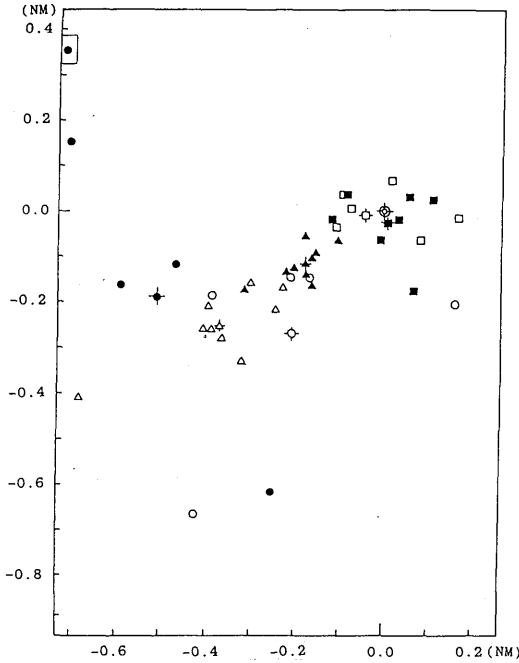


Fig. 22. Decca fixes by Red-Green pair in each zone (open dot: zone I; triangle: zone II; square: zone III; solid mark: calculated fixes by table; open mark: reading fixes from processor; each mark with cross shows mean fix, double circle with cross is standard position [fix by horizontal sextant angles]).

定偏差は Fig. 21 のごとく測点によって変化し、その地理的条件が主因と考えられるが、全般的には赤、緑のパタンは南部で大きく北上するにつれて減少し、紫パタンはその絶対値はあまり変化しないものの、五島列島北端附近を東西方向に通る基線延長線の南側では負、北側では正の値となることが多い。電波の伝搬経路上に陸地や島があり、離岸距離が数海里しかないとき位相の乱れを生じ、特に送信局からの距離が遠いとその乱れが大きくなる傾向がみられる。

測点を Fig. 21 のごとく海域ごとに3つのゾーンに区切って、R-Gペアの偏位の状況を示したものが Fig. 22 である。前述のように1ゾーンではデッカーテーブルによる位置 (D_c) もプロセッサの表示する位置 (D_p) も大きくばらついているが、2ゾーンでは南西方向に偏位しているものの、よくまとまって測点間の差は小さい。3ゾーンでは赤局と主局に近くなり、赤パタンのレーン幅が小さくなるので偏位量は小さくなるが、ばらつきがやや大きくなっている。各測点とも D_p の方が D_c よりも偏位が

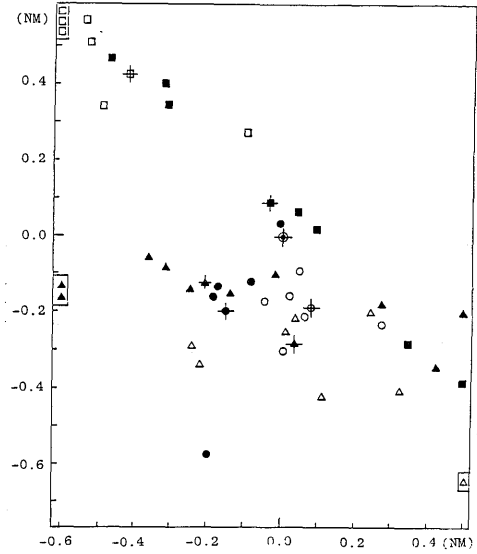


Fig. 23. Decca fixes by Green-Purple pair in each zone (open dot: zone I; triangle: zone II; square: zone III; solid mark: calculated fixes by table; open mark: reading fixes from processor; each mark with cross shows mean fix, double circle with cross is standard position [fix by horizontal sextant angles]).

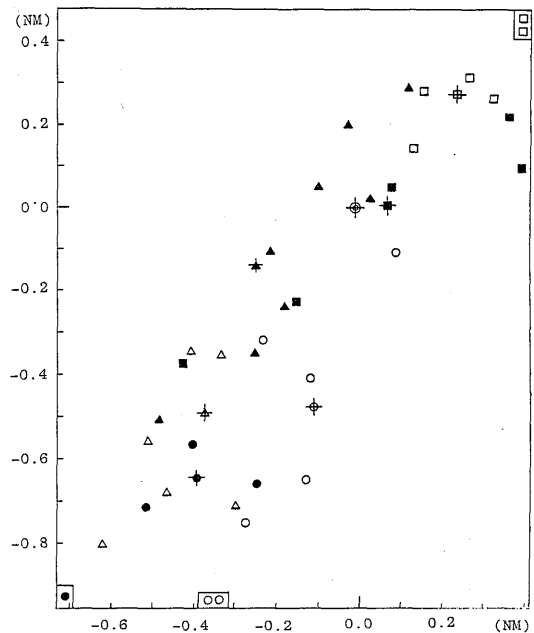


Fig. 24. Decca fixes by Purple-Red pair in each zone (open dot: zone I; triangle: zone II; square: zone III; solid mark: calculated fixes by table; open mark: reading fixes from processor; each mark with cross shows mean fix, double circle with cross is standard position [fix by horizontal sextant angles]).

大きく、2ゾーンではほぼ同じ方向ながら、Dpの平均偏位は0.4海里でDcのそれより0.2海里大きい。

Fig. 23, 24のごとく、他のペアでも同様な傾向がみられる。前述のように、紫パタンは夜間の変動が大きく安定性に欠けるから、この海域では紫パタンを含むペアは、夜間には使用できない。従って、この海域ではR-Gペアを使用すべきである。また、隣接測点でも偏差が数十cel異なることがあるので、正確な位置を必要とする場合には、狭い範囲の詳細な評価試験が必要である。

DpとDcの差は同じゾーンでも測点によって0.13~0.43海里の幅があるから、Dcの補正値がすでに求めてあっても、あらためてDpの評価試験を行なう必要がある。一般的にDpの偏位量が大いのは、プロセッサのプログラムに使用されている電波の伝搬速度が、実際の速度やテーブルの速度と異なっていることが原因と考えられる。

第3節 ロランCシステムの評価

1) 陸上定点における測定

1) 受信信号の季節的变化、昼夜による変化とそれらによる位置の偏位を把握するため、長崎大学航海学教室において、前節の測定と同時にロランCシステムの評価を行なった。測定間隔や方法はデッキの場合と同様で、自動信号捕捉・追尾式受信機(LR-717)を使用し、5970チェンのW・X・Y局と9970チェンのX・Y局(Fig. 6参照)の信号を受信対象とした。しかし5970チェンのW局は季節によって地表波が受信できないことがあった。この局は9970チェンのX局として併用されているので、そのX-Yペアによる位置も測定できない期間があった。これは測定地点が陸上の市街地、しかも周囲を山に囲まれているため、都市雑音や附近の建造物からの反射波が大きいこと、送信局からの距離が遠い上に陸上伝搬距離が長いから信号の電界強度が低く、ことに秋・冬期には伝搬経路が雪におおわれて信号が一段と弱くなるので、自動捕捉・追尾ができないためである。長崎港内でも港奥の一部で受信できないことがあるが、海上では沿岸水域でも充分測定できる。従って本項では5970チェンのX-Yペアのみについて周年の評価を行なった。

2) Fig. 25に昼夜別の月別平均値と標準偏差を示す。月別の平均値は両局とも昼夜ではほぼ同じ傾向を示し、標準偏差の大きいX局の2, 10, 12月を除けばほとんど同じ符号で、わずかに0.05 μ sec以下の差にすぎない。月別平均値は両局信号とも春から夏に

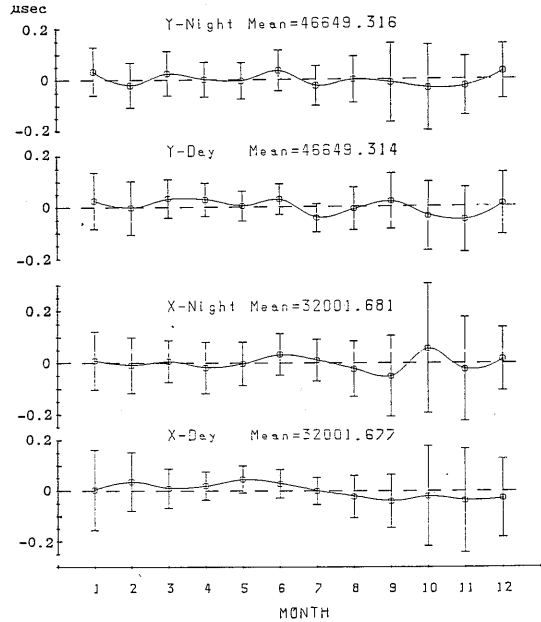


Fig. 25. Monthly mean values and standard deviations of Loran C readings of 5970 chain X-Y rate at land station, Nagasaki university in 1983 (dotted line: yearly mean value).

かけて年平均より多く、秋から冬では減少する傾向がみられるが、年平均との差は標準偏差の大きい季節の1~2例を除けば0.05 μ secで、年間を通じてほぼ一定の定偏差とみなせる。標準偏差も季節によって変化し、月平均値が年平均値より小さくなる秋冬期に大きくなる。しかしY局信号は昼夜で差がなく、X局信号は12~2月では昼間の方がわずかに大きいか等しく、他の月では夜間の方が大きくなっている。これらの現象は、主局とX局が緯国で距離が近いこと、Y局が沖縄にあり距離が遠いこと、季節によって気温に差があること、気圧配置が異なることなど、自然条件に差のあることが原因と考えられる。

3) Fig. 26は昼夜別、月別の平均位置の測定点からの偏位を示したものである。年平均位置は経度方向に0.05海里のずれがあるのみでほとんど一致しており、各月のばらつきの範囲もほぼ一致し、緯度方向に±0.01海里、経度方向に±0.03海里である。前節のデッキのR-Gペアでは、緯度方向のばらつきはほぼ同じでも経度方向のそれは±0.06海里で約2倍である。すなわち定偏差の季節的変動はロランCの方が安定している。しかし、0.05 μ secに相当する位置の線の幅はX局信号で0.15海里であるが、

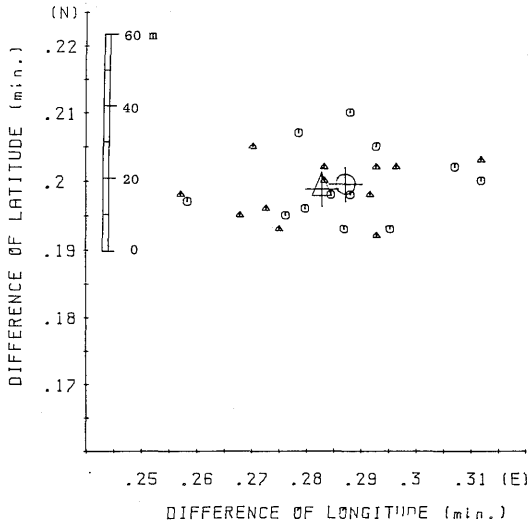


Fig. 26. Monthly mean differences of Loran C fixes of 5970 chain X—Y rate at land station, Nagasaki university in 1983 (circle: in the daytime; try-angle: at night; mark with cross: mean fix).

デッカでは赤局信号の標準偏差は約 3 cel で、その位置の線の幅 (レーン幅) は 0.02 海里にすぎない。従ってロラン C の位置の方が誤差界は広いことになるが、船位の精度に対する要求度があまり高くない一般の航行には、充分よい精度の安定した位置が得られる。

本測定は陸上定点におけるものであるから、定偏差の値をそのまま海上における補正值とすることはできない。だが昼夜別月平均値の変化が少ないから、一度補正值を測定すれば、他の時期にも応用できる利点がある。しかし、標準偏差は月別平均値の差よりも大きいから、船位の誤差界が大きくなる。

2) 海上定点における測定

1) 海上定点については Fig. 20 で示した各測点で、デッカシステムと同時に 5970 チェンと 9970 チェンの X—Y ペアについて測定を行なった。同型の受信機 2 台でそれぞれのデジタル表示される位置を読み取るとともに、9970 チェンについては時間差も読み取り、ロラン C テーブルによる計算位置 (9—C と略す) を算出した。なお 5970 チェンのテーブルは刊行されていない。三標両角法による基準位置と両チェンのプロセッサによる位置 (5—P, 9—P と略す) と 9—C の偏位を Fig. 27 と Table 7 に示す。9970 チェンでは 9—C, 9—P とともに西方へ偏位し、偏位量は 9—C の方が大きい。9—P の平均距離と標準偏差は 0.23 ± 0.04 海里であるのに対し 9—C は

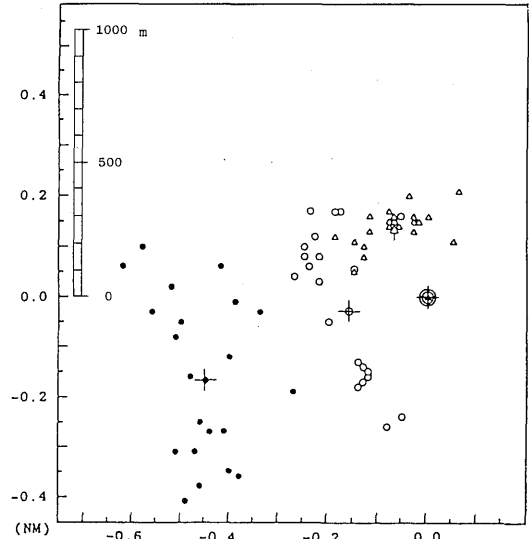


Fig. 27. Differences of Loran C fixes of 5970 and 9970 chain X—Y rate on the coast of Nagasaki Prefecture (solid dot: 9970 X—Y calculated fix by Loran C table [9—C]; open dot: 9970 X—Y fix by processor [9—p]; triangle: 5970 X—Y fix by processor [5—p]; each mark with cross shows mean fix, double circle with cross is standard position [fix by horizontal sextant angles]).

0.51 ± 0.08 海里で 2 倍以上の値である。これは 5—P, 9—P の平均位置が近いことからテーブルとプロセッサに用いられている電波の伝搬速度が異なることが主因と考えられる。測点が南から北へ移るにつれて緯度方向の偏位が変化し、ことに壱岐水道附近では北偏しているために、南北方向のばらつきが大きくなっている。すなわち緯度誤差に影響する Y 局の位置の線の誤差の変化によるもので、その原因としては Y 局信号の伝搬経路上に存在する陸上距離の長短によると考えられる。

5—P の平均距離と標準偏差は 0.16 ± 0.05 海里であるがすべて北側に偏在し、東西方向のばらつきがやや大きい。すなわち東西距 (Departure) の平均値と標準偏差は 0.07 ± 0.07 海里であるから、測点の北から西北西方向に偏在している。この原因は Y 局の位置の線の誤差が変化するため、Y 局信号の伝搬経路はほとんど海上であるが、測点によっては短距離ながら陸上を通過し、速度が変化することによるものと考えられる。なお X 局からの距離は Y 局からの距離の 1/2 以下であるから、時間差の誤差の影響は少なく、緯度方向のばらつきは小さい。5—P でも測点による差はあるものの、全般的に平均偏位量・

Table 7. Differences of Loran C fixes of 5970 and 9970 chain X-Y rate on the coast of Nagasaki Prefecture, and the mean values and standard deviations (S. D.) of three zones (9-C:9970 X-Y calculated fix by Loran C table; 9-F: 9970 X-Y fix by processor; 5-P: 5970 X-Y fix by processor).

zone	Station No	9 - C			9 - P			5 - P		
		D.lat.	Dep.	Dist.	D.lat.	Dep.	Dist.	D.lat.	Dep.	Dist.
I	1	-0.253'	-0.456'	0.522'	-0.130'	-0.135'	0.187'	0.140'	-0.084	0.163'
	2	-0.314	-0.472	0.567	-0.240	-0.051	0.245	0.110	-0.152	0.187
	3	-0.381	-0.460	0.597	-0.180	-0.143	0.230	0.110	0.051	0.121
	4	-0.265	-0.441	0.515	-0.150	-0.093	0.176	0.160	-0.118	0.199
	5	-0.363	-0.380	0.525	-0.260	-0.076	0.271	0.100	-0.126	0.161
II	6	-0.409	-0.485	0.635	-0.170	-0.126	0.212	0.170	-0.084	0.190
	7	-0.348	-0.401	0.532	-0.140	-0.126	0.189	0.150	-0.084	0.172
	8	-0.341	-0.391	0.519	-0.170	-0.034	0.173	0.130	-0.110	0.170
	9	-0.270	-0.409	0.490	-0.150	-0.118	0.191	0.120	-0.194	0.228
	10	-0.359	-0.405	0.541	-0.190	-0.059	0.199	0.150	0.0	0.150
	11	-0.190	-0.274	0.334	-0.050	-0.202	0.208	0.150	-0.076	0.168
	12	-0.163	-0.476	0.504	0.030	-0.219	0.221	0.050	-0.152	0.160
	13	-0.124	-0.397	0.416	0.060	-0.244	0.252	0.0	0.0	0.0
	14	-0.007	-0.393	0.393	0.100	-0.251	0.270	0.140	-0.059	0.152
	III	15	0.058	-0.619	0.622	0.040	-0.268	0.271	0.080	-0.134
16		0.020	-0.518	0.518	0.170	-0.184	0.251	0.200	-0.042	0.204
17		0.103	-0.580	0.589	0.170	-0.243	0.296	0.160	0.0	0.160
18		-0.045	-0.498	0.500	0.080	-0.217	0.232	0.130	-0.025	0.132
19		-0.084	-0.507	0.514	0.080	-0.251	0.263	0.150	-0.025	0.152
20		0.060	-0.423	0.428	0.170	-0.192	0.257	0.210	0.059	0.218
21		-0.029	-0.342	0.343	0.160	-0.067	0.173	0.160	-0.067	0.173
I	MEAN	-0.315	-0.442	0.545	-0.192	-0.099	0.222	0.124	-0.086	0.166
	S.D.	0.057	0.036	0.036	0.056	0.039	0.040	0.025	0.080	0.030
II	MEAN	-0.246	-0.404	0.485	-0.076	-0.153	0.213	0.118	-0.084	0.154
	S.D.	0.133	0.060	0.091	0.113	0.079	0.031	0.056	0.063	0.063
III	MEAN	0.006	-0.506	0.509	0.124	-0.206	0.250	0.155	-0.031	0.163
	S.D.	0.064	0.089	0.089	0.052	0.063	0.036	0.040	0.055	0.029
Total	MEAN	-0.170	-0.449	0.507	-0.030	-0.160	0.228	0.133	-0.065	0.162
	S.D.	0.167	0.080	0.081	0.150	0.076	0.037	0.046	0.067	0.045

標準偏差とも小さくて最も安定した高精度の位置を示している。しかし今回の測定海域より南下するにつれて9-Pの精度がよくなり、5-Pのそれが低下することが予想されるので、ほぼ等精度になる位置、すなわち使用チェンを切替えるべき場所を把握しておく必要がある。なお、今回の測定結果から、北九州西岸海域ではプロセッサによる位置の精度が高く、テーブルを使用する必要はないといえるが、更に東シナ海や本州の太平洋側における両者の比較検討が必要である。

2) 海上の固定点における長時間の連続測定は、実施が困難なためほとんど行なわれていない。1980年夏期に、島根県大社町沖約4海里的地点で約1週間錨泊した機会に、9970チェンについて昼夜連続測定を行ない、時間差値の変化について評価した。なお当時5970チェンは運用開始前であった。

時間差値の測定日ごとの平均値と全平均値との差は、X・Y局信号とも $0.3\mu\text{sec}$ 以下でほとんどが $0.1\mu\text{sec}$ であった。またその標準偏差は各日とも $0.2\mu\text{sec}$ 以下で安定性、再現性がよい。1例として8月2日、3日の測定値をプロットしたものがFig. 28である。夜間に発生する $10\mu\text{sec}$ 単位の誤差（以下スリップと略す）を除けば、変動状況の昼夜による差はみられない。夜間のスリップの発生と、その継続時間をあらわしたものがFig. 29である。スリップの発生時刻は21時頃から翌朝5時頃の間で、その間断続的に発生し、持続時間は数分から十数分であるが、発生時刻・回数とも測定日によって著しく異なっている。スリップの大きさは $\pm 10\sim 20\mu\text{sec}$ であるが、その正負、大きさ、持続時間はX局、Y局信号ともほとんど同じことが多かったので、主局信号のみが空間波の影響を受けていたものと考えられる。

この海域における位置の線のレーン幅は $1\mu\text{sec}$ で $X=0.11$ 海里、 $Y=0.16$ 海里でその交角が 78° であるから、 $10\mu\text{sec}$ のスリップがあると緯度 $1.2'$ 、経度 $2.1'$ の偏位を生ずる。航走中には測定間隔を短くして、連続的にプロットすれば容易に判別できる。プロセッサによる位置は基準位置より東方へ約 0.5 海里的の偏位で、それよりもテーブルによる位置の偏位の方が大きく、前述の九州北西岸とは反対である。その原因は、プロセッサとテーブルとでは使用されている電波の伝搬速度が異なることと、陸上経路の長短によるものと考えられる。

3) 各地における測定結果より、沿岸海域では陸上経路と離岸距離の長短が測定位置の定誤差を左右

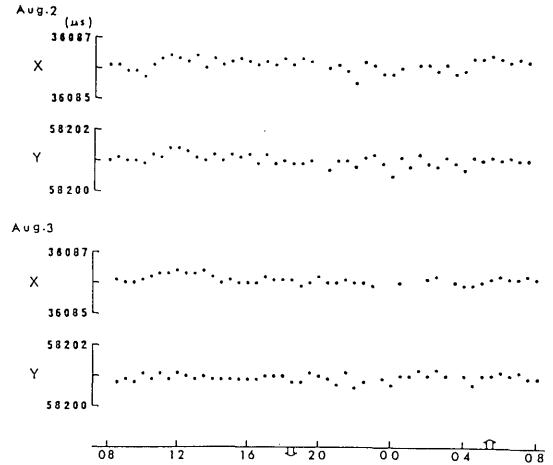


Fig. 28. Measured time differences of Loran C 9970 chain X-Y rate off the coast of Taisha (Shimane Prefecture), in Aug. 1980.

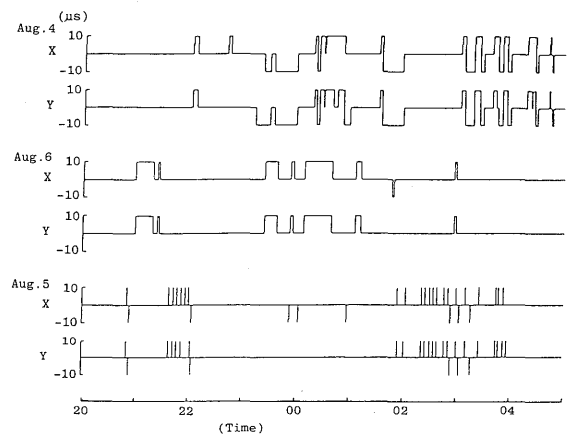


Fig. 29. The occurrence frequency and continued time of $10\mu\text{sec}$ error owing to the sky wave at night.

するから、高精度の位置を必要とする場合には、せいまい範囲でできるだけ数多くの測定点における評価が必要である。また短期間の再現性はよいが、主従局間の距離が長いので地表波の有効利用範囲が季節によって変化し、その限界附近では夜間に空間波の影響を受けてスリップを生ずるから、測位結果の判別をすることが必要である。

第4節 レーダ距離・位置の精度

1) 概要

デッカ・ロランなどの電波航法システムの評価には基準位置としてレーダ位置が用いられることが多い。特に沿岸航海中では簡単でしかも高精度の位置が測定できるので、しばしば利用されている。一般

にレーダ方位の誤差の標準偏差は 1.5° 、距離誤差の標準偏差は測定距離の3%といわれているが(笠原, 1980, 田辺, 1974), それらがレーダ位置に誤差を生じ, その結果他のシステムの相対誤差の信頼性を低下させることになる。基準位置としてレーダ位置を使用する場合の基礎的なデータとするために, 長崎大学練習船鶴洋丸のレーダを使用して測定を行ない, その距離, 方位および位置の精度について評価を行った(中根他, 1984)。

2) 測定

使用レーダは東京計器(株)製のMR-160-59Aで, スコープの直径は16インチである。測定範囲は12海里までであるが, 3海里以下の測定では岸壁に係留中の鶴洋丸で, 同船搭載のポート(FRP製, 長さ6m)を移動させて目標とし, そのレーダ方位と距離を測定した。目標の位置は両者間の距離により次の方法で測定した。(1)距離1海里以下の場合は2台のトランシットで三角測量により決定した(Fig. 30)。(2)距離1~3海里では, ポート上で3灯台の水平挟み角を測定し三標両角法により決定した(Fig. 31)。(3)3海里以上の範囲では, 長崎港外にて鶴洋丸を漂泊させ, 顕著な孤立物標の方位と距離を測定すると同時に, 三標両角法で船位を測定した。三標両角法では記入上の誤差をさけるため, 三かん分度器は用いず, 3物標の緯度・経度と両測角より計算によって位置を決定した。また, 三標両角法の測角では目盛の読み違いを避けるため, 二人で交互に測角して確認したので, 予想される測角値の誤差は $1\sim 2'$ の個人差のみである。

3) 結果と考察

鶴洋丸の位置から物標までの距離と方向を算出し, 測定値と比較してそれぞれの誤差を求めた。その結果をプロットしたものがFig. 32(方位誤差)とFig. 33(距離誤差)である。両図とも0~2海里の範囲では0.05~0.2海里の間隔で測定したから, データ数が多くて重複しているものは1個のみを図示した。測定範囲0.05~12海里をレーダの使用距離範囲(レンジ)により区分して, 各範囲の方位誤差と距離誤差の, 平均値と標準偏差を算出した結果がTable 8である。

1) 方位と距離の誤差

方位誤差はすべて $-1.0\sim +1.0^\circ$ の範囲におさまっているが, マイナス側に偏在している。各平均値は $-0.44\sim +0.14^\circ$ で, レンジによって 0.5° の差がみられるが, ほとんどがマイナスの値を示していること

から, ジャイロコンパスに -0.3° 程度の定誤差があったものと考えられる。

標準偏差は $0.48\sim 0.69^\circ$ で, 使用レーダの確度「1°以下」に相当する精度といえる。一般に航走中の測定値には $\pm 2\sim \pm 3^\circ$ の誤差を考慮すべきである(笠原, 1977, 田辺, 1974)とされているが, 実用上は

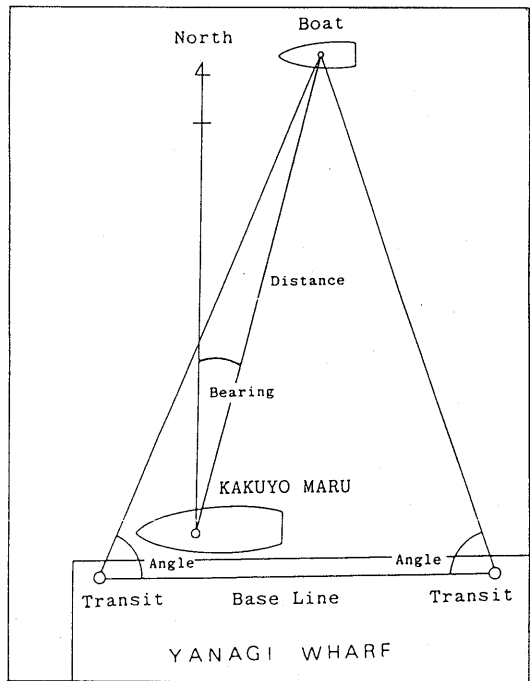


Fig. 30. The arrangement of two transits, radar (on Kakuyo Maru) and the target (on boat) on the measurement in the range of less than 1 nautical mile.

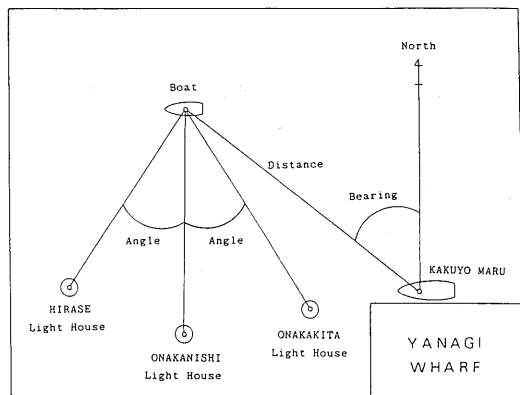


Fig. 31. The measurement of the errors of radar fixes in the range of 1~3 nautical miles and the relation between radar (on Kakuyo Maru) and the target (on boat).

Table 8. The mean values and standrad deviations (S. D.) both of bearing and distance errors in each range.

Range	No. of Data	Bearing Error(°)		Distance Error(NM)	
		Mean	S.D.	Mean	S.D.
0.0' ~ 0.5'	23	-0.267	0.523	-0.005	0.013
0.5 ~ 1.5	36	-0.438	0.491	-0.010	0.009
1.5 ~ 3.0	8	0.138	0.484	-0.004	0.014
3.0 ~ 6.0	12	-0.100	0.685	-0.032	0.037
6.0 ~ 12.0	9	-0.089	0.567	-0.010	0.044
Total	88	-0.259	0.555	-0.011	0.023

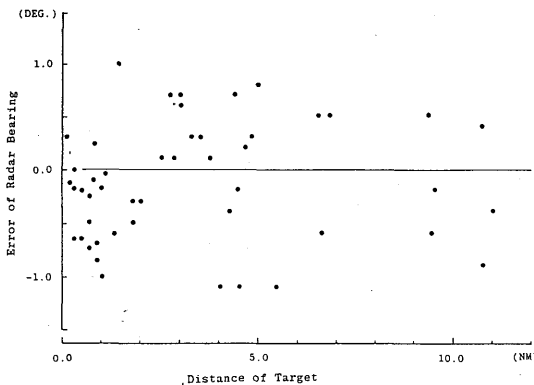


Fig. 32. The distribution of bearing errors by rader measurement.

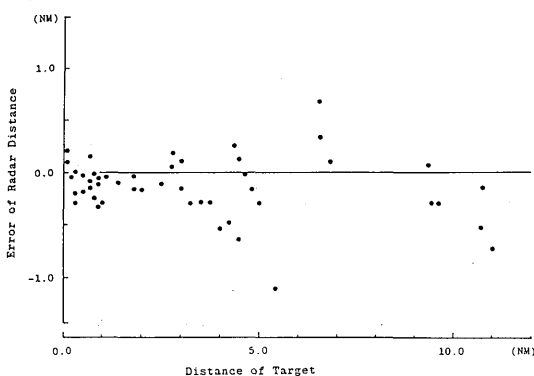


Fig. 33. The distribution of distance errors by rader measurement.

0.5°ないし1°単位で測定するのに対し、本測定では停泊または漂泊中の測定で時間的なずれがないことと、目測ながら0.1°単位の読取りを心掛けたことにより、精度が高くなったものと考えられる。

距離誤差は平均値、標準偏差とも0.05海里以下で、

使用レーダの確度「±0.05海里または使用レンジの1.5%のうち大きい値」を満足するものといえよう。一般に距離誤差はレーダ距離の2~3%といわれているが(笠原, 1977), 至近距離においては必ずしも距離に比例した誤差量にならないことがある。すなわち、映像と距離マーカの整合が正しく行なわれても、映像が点でなく面積をもつことによる誤差を生じ、特にせまいレンジの場合に影響が大きいことによるものである。

平均値がすべてマイナスの値となったのは、個人差が一因と考えられる。すなわち、測者が距離マーカと映像の整合に際し、マーカの外側と映像の内側が重ならぬように努めることと、0.1海里単位のダイヤルゲージから目測で0.01海里単位で読み取る際に、少なめに読む傾向があったことなどが考えられる。

レーダの使用レンジによって目標が異なり、その位置の測定方法も違う。三角測量の方が三標両角法よりも正確であるが、三標両角法における測角では前項に述べたごとく、誤差が混入しないように、充分留意したので測角誤差は1~2'にすぎず、それによる距離誤差も0.001海里のオーダーと考えられる。

2) レーダ位置の確度

単一物標の方位と距離によるレーダ位置の確率密度(g)を求めた。すなわち距離 d_L における方位誤差の標準偏差 σ_A を

$$\sigma_1 = d_L \cdot \sin \sigma_A$$

により偏位の標準偏差 σ_1 に変換し、距離誤差 σ_2 と両位置の線の交角 ψ (方位線と距離圏の場合には $\psi = 90^\circ$)から

$$g = \sin(\psi/2) \cdot \pi \sigma_1 \sigma_2$$

で算出される。同様にして、沿岸航行中に最も普通

的に利用されているクロス方位法による船位の確率密度を求めた。クロス方位法による方位線には、最大1.7°の誤差があり(長谷川, 1967), 標準偏差は1°とみなされる(平岩, 1971) から, $\sigma = 1^\circ$ として計算した結果が Table 9 である。次に各距離範囲における95%確率楕円の長半径 Ay と短半径 Ax および95% Radial error 方式による半径 R を

$$Ax = 2.4477 \cdot \sigma_1$$

$$Ay = 2.4477 \cdot \sigma_2$$

$$R = 2 (\alpha \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \operatorname{cosec} \psi)$$

により算出した結果が Table 10 である。

確率密度は測者と物標間の距離が遠くなるにつれて低下するが、どの範囲でもレーダ位置の方が大きく距離の増大にともなう低下の割合も少ない。

レーダ位置の95%確率楕円は、至近距離では距離誤差による偏位量の方が、方位誤差のそれよりも大きいので縦長の形であるが、距離が遠くなるに従って横長の形に変形してゆく。95% Radial error 方

式の半径は、距離 0.5 海里以下ではわずかながらクロス方位法の方が小さいが、それ以上の距離ではレーダ位置の半径の約 2 倍程度となっている。これはクロス方位法の誤差は距離に比例して増大するが、レーダの距離誤差の増加率が小さいことが主因である。すなわちレーダ位置の決定には、可能なかぎり 2 個以上の距離の組合せによるべきであることを示している。

本測定では、顕著な孤立物標を漂泊または固定した船上で測定したから、目標が限定され測定距離は 12 海里以内で、しかも各測定範囲のデータ数に差があった。しかし、測定上の誤差の混入をできるだけ避けるように留意したので、方位、距離の誤差は $-0.26 \pm 0.56^\circ$ と -0.01 ± 0.02 海里で、クロス方位法よりもかなり高い精度の位置が得られた。

一方、航走中の測位では通常方位を 0.5° または 1° 単位、距離を 0.1 海里の単位で読み取るからその精度は低下するものの、クロス方位法とほぼ同じ程度とみなすことができよう。しかし、陸地から遠ざかるにつれてスコープ上の映像が海図上のどの地点に相当するかについて、判断のミスを生じやすくなるし、測定上の個人差も含まれるので精度が低下する。

Table 9. The probability densities calculated by radar and cross bearing fixes in each range.

Range	Radar fix	Cross bearing fix
0.0' ~ 0.5'	2682.463	2090.683
0.5 ~ 1.5	1375.726	232.298
1.5 ~ 3.0	448.593	58.075
3.0 ~ 6.0	59.966	14.519
6.0 ~ 12.0	30.460	3.630

Table 10. The minor (Ax) and major (Ay) radiuses of 95 % probable ellipses calculated by radar, and radiuses of 95 % radial error method calculated by radar (RF) and cross bearing fixes (CF).

Range	Radiuses of 95% probable ellipse		Radiuses of 95% radial error	
	Ax	Ay	RF	CF
0.0' ~ 0.5'	0.032'	0.012'	0.028'	0.022'
0.5 ~ 1.5	0.022	0.032	0.037	0.065
1.5 ~ 3.0	0.034	0.061	0.057	0.129
3.0 ~ 6.0	0.091	0.176	0.162	0.258
6.0 ~ 12.0	0.108	0.291	0.254	0.516

第 4 章 水中物体の位置確認システムの開発とその問題点

第 1 節 各種システム使用の現状と本システムの概要

1) 各種システム使用の現状と問題点

野性動物の生理・生態や、その棲息する環境などに関する情報を離れた場所で観測し、生理学的・生態学的な研究に寄与するための手法として、バイオテレメトリーの技術が利用されてきた。各種のセンサを動物に装着して得られた情報の伝達手段としては、陸上動物の場合には専ら電波が利用されているが、水中物体については電波と超音波が、単独で使用または併用されている。電波を利用するためにはアンテナが必要であるが、その装着が困難である。大型の動物には直接装着することもできるが、表層附近を遊泳している場合しか送信できない。小型の動物や浅層附近を遊泳するものには、アンテナを取り付けた浮器を曳行させる方法もあるが、曳行用の紐やテグスの影響で異常な行動をしたり、行動範囲が限定されるなどの欠点がある。従って、超音波の利用に関する研究が数多く行なわれている。

超音波の利用方式にはピンガーを用いる自発送信方式とトランスポンダによる応答送信方式があるが、いずれも送信源を魚体に直接装着するために、小型・軽量で装着方法が簡便な送信器が必要となる。自発送信方式ではピンガーの改良が進み、著しく小型化されて魚体内に埋没させる方式のものもあるが、測定位置の精度に問題がある。すなわちその位置を測定するために得られる情報は、指向性をもつ受波器による方位線だけで、しかもその精度は低い。ことに1隻の船で追跡する場合には、概略の距離が推定できるだけで、位置の精度が著しく低いから、船の航跡を遊泳コースとみなしている(吉田, 中村, 1973)。従って、マクロな行動経路の解析しかできない。追跡する物体の位置を精度よく測定するためには、複数の方位か距離または両方の情報が必要である。

一方、応答送信方式を用いればよい精度の距離情報が得られるが、トランスポンダはピンガーよりもやや大型になる欠点がある。また、単一の受信器では方位の精度は向上せず、距離が増大するに従って位置誤差も増加する。その解決策として2定点を設定して2個の距離情報を得る方法(三浦・西山, 1976, 1977)、ロランシステムと同様に3定点で2個の距離差を測定し、2本の双曲線で位置を決定する方法(小長谷, 1981)などが考案されている。しかし、これらは定点に受信器を設置するので、測定範囲が限定される。黒木ら(1971)は3個の受信器を立体的に配置して、各受信器へ到着する時間差から音源までの距離とその深さを測定する装置を開発した。この装置を研究船淡青丸(東京大学海洋研究所)の舷側に装着し、海上の追跡実験の結果、水平方向と垂直方向の移動状況がオンライン表示されて、そ

の有効性が示された。この装置は受信点間の間隔が3 mであるから、船の動揺や船首方向の振揺により測位精度が低下することと、小型船には装着が困難であるなどの点について考慮する必要がある。

2) 本システムの概要

本研究では、生物を含む水中物体の位置を正確に測定してオンラインで表示し、かつ広範囲にわたる追跡が可能で簡便なシステムの開発を試みた。当初ピンガーによる自発送信方式により、水面に浮遊させたテレメトリー・パイで、超音波の到着時間差を測定する方法を考案した。しかしながら、風や海潮流によるパイの漂流により、測定範囲が限定されること、パイの回収・再設定をする間は追跡不可能になるなどの欠点が予想される。そこで応答送信方式を採用することとした。

基本的な考え方は約100 mの基準線を設定し、その両端から水中物体までの距離を測定するというものである。2個の受波器を使用し、その1個を追跡船の舷側(A)に、他の1個を約100 mの曳航索の先端(B)に取付け、両受波器間を基準線とする。A、B2点から水中物体までの距離は超音波の伝搬時間により測定し、基準線の方法は航途中の船の船首方位と一致するものとして、ジャイロコンパスの示度を用いる。更に船位を電波航法装置で連続測定して、水中物体までの方位と距離による相対位置とともに、緯度・経度を自動的に連続記録し、長時間にわたるミクロな追跡を可能にしようというものである。

システムの開発にあたり、送受波器、信号の処理および表示の機能をもつ距離測定装置およびトランスポンダは㈱沖電気に特注試作した。さらに信号はマイクロコンピュータ(PC-8001型)によりオン

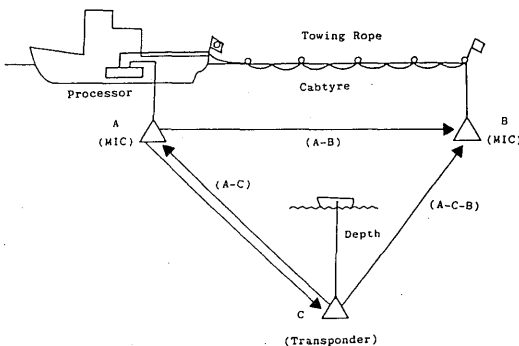


Fig. 34. The relation among microphones (A, B), transponder (C) and processor.

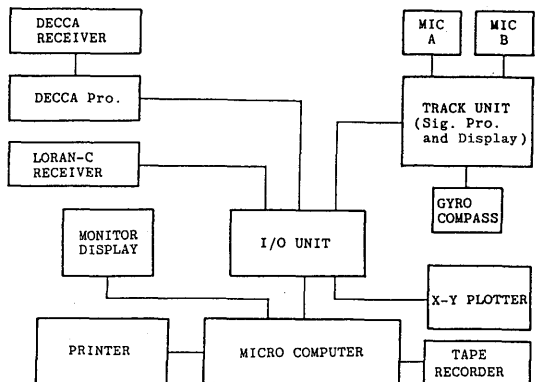


Fig. 35. Block diagram of the underwater object-tracking system.

ライン処理を行ない、水中物体の位置算出と相対関係を示すためのプロットングを行なう。そのための各種のインターフェースの製作はパーソナルワズコンピュータ(株)に特注した。

船位のセンサとしては第3章でのべた評価試験の結果から、ロランCとデッカシステムが有効なシステムと考えられるので、実験海域における両システムの詳細な評価試験を行なった。さらに、本システムで予測される誤差原因について考察し、それらについての基礎実験、追跡装置の精度測定および追跡の実験を実施して、実用化の可能性について検討した。

第2節 本システムの構成と問題点

1) 概要

本システムは簡便な装置で広範囲にわたり連続的に、水中物体を追跡できることを目的とするものである。従って、小型の調査船に装備できること、自由に移動できること、調査船からの方位・距離が測定できること、すべて自動的に作動することなどが必要な条件となる。これらの要件を満たすために、次のような編成を行なった。まず、海上に移動可能な基準線を設定するため、Fig. 34に示すように送受信用のマイクロホン(A)を調査船の中央部舷側に設置し、さらに受信専用のマイクロホン(B)を約100mのロープで曳航する。Bマイクロホンと送受信器の間はキャプタイヤコードで接続する。キャプタイヤコードはロープに添わせ、ロープを浮かせるために5m間隔で直径20cmのハイゼックス浮子を取付けた。このAB間を基準線とし、その長さは超音波(25kHz)の伝搬時間から求める。調査船を微速力で直進させてロープを曳航すれば、ほぼ正船尾方向に一直

線になるから、その方向は船首尾線方向と一致する。従って、船首方向を示すジャイロコンパスの示度は、基準線の方向と一致するものとみなせる。正確には、A点が船首尾線から船幅の半分だけずれているから、調査船の大きさによってはその補正をする必要がある。

Aマイクロホンから送波された超音波をBマイクロホンとトランスポンダ(C)で受信し、C点で発射される応答信号をA、B両マイクロホンで受信して到着時間を測定する。それを距離に換算してAB、ACおよびCBの3距離からABとACの交角(α)を算出する。ジャイロコンパスの示度に($180^\circ - \alpha$)を加えれば、A点すなわち、調査船からの方位を得られるから、水中物体の相対位置が求まる。また、その方位と距離を変緯(D. lat)と変経(D. Long)に変換して船位に加減すれば、地球座標系の緯度・経度であらわすことができる。なお、トランスポンダの応答信号には、深度情報をのせることもできる。しかし、深度センサについてはその製作を試みたが、十分な機能を発揮できるものが得られなかった。従って、本研究では各マイクロホンとトランスポンダを同一深度に保って、水平方向の位置変化の測定に限定して実験を行なった。

2) 構成

本システムはトラッキング装置とトランスポンダから成り、トラッキング装置は船位を基準として連続的に自動測定するために、(1)船位測定部、(2)距離測定部および(3)情報処理記録部で構成されている(Fig. 35, 36)。

本装置は小型船で使用する場合に、船室入口が狭くて搬入できないことが予想されるので、全体を



Fig. 36. The apparatus of this system.

まとめてラックに収めるタイプにせず、各部の機器をケーブルで接続する方法をとった。

1) トラッキング装置

(1) 船位測定部

船位センサとしては連続測定が可能で測位精度が高く、かつ容易に利用できるシステムであることが必要である。前章で述べたごとく、本システムの実験海域ではデッカシステムの精度が高く最適であるが、我国の沿岸でも利用範囲外の海域があり、精度の低下する地方もあるので、デッカシステムに次で高精度と広い利用範囲をもつロランCシステムの単独使用またはデッカシステムとの併用ができるようにした。

両センサともホイップアンテナ、受信機およびプロセッサ（ロランCでは受信機に内蔵されている）から成る。両方とも緯度・経度と受信信号の位相差値または到達時間差値のほか、針路・速力などをデジタル表示する自動追尾式受信機である。デッカ受信機（MK-21型）、同プロセッサ（DP-80型）およびロランC受信機（LR-717型）はいずれも一般船舶用の市販品であるが、それぞれ一部改造して出力信号取出し用の端子を設け、マイクロコンピュータ用の入出力装置と接続できるようにした（Fig. 37）。

出力信号の内容は緯度・経度（0.01'単位）と、各位置の線の値（デッカの位相差値，〔1 cel 単位〕およびロランCの時間差値，〔0.1 μ sec 単位〕である。

(2) 距離測定部

25kHzの超音波のパルス信号を発受信し処理をするトラッキング・ユニット（TM-2050）と2個のマイクロホンおよび曳航索で構成される（Fig. 38, 39）。

トラッキング・ユニットはA点発受信回路、B点受信回路、相関処理回路、カウント回路、デジタル表示回路および起動信号発生回路などで構成されている（Fig. 40）。A点で発信されたパルス列信号をトランスポンダ(C)で受信するとともにB点でも受信し、基準線ABの長さを測定する。C点では受信信号を起動信号として応答信号を発信する。この応答信号のパルス列に深度情報をのせることができるようにしてある。A、B両点で応答信号を受信し、それぞれ相関処理をしてカウント回路に入力し、3個の距離（AB、BC、CA）をデジタル表示する。また、ジャイロコンパスから入力される船首方位信号をA-

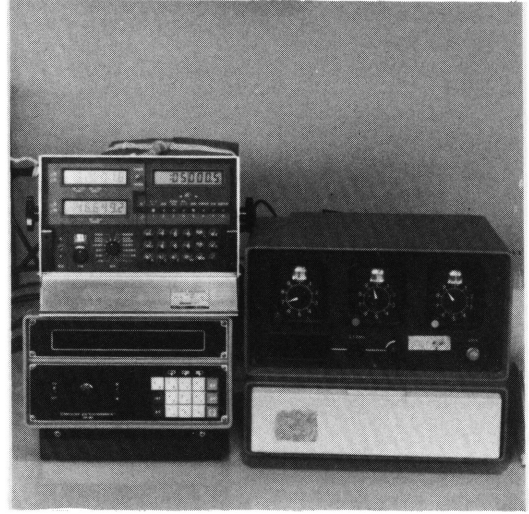


Fig. 37. Ship's position sensor; Decca receiver (right), processor of Decca signal (left lower), Loran C receiver (left upper).



Fig. 38. Tracking unit; transmitter—receiver.

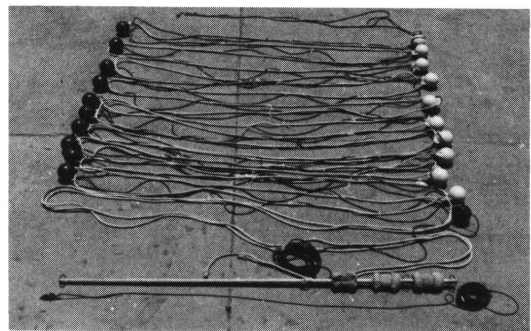


Fig. 39. Tracking unit; towing rope with captyre cord and microphones.

D変換したものと、C点の深度も同時に表示できる。送信間隔は2秒と5秒の2段切換で、表示はすべて3桁(1m単位)であるからACやCBが1,000m以上になると千の桁は表示されないが、手動切換で10m単位の表示をすることもできる。本器の主要な仕様を Table 11に、送受信のタイムチャートを Fig. 41に示す。

Aマイクロホンは送受信兼用で、約4mのパイプに取り付けてそのパイプを船の中央部舷側に固定して、航進中でもマイクロホンがほぼ垂直な姿勢を保持できるようにした。

トラッキング・ユニットとAマイクロホンとは2芯のキャプタイヤコード(約30m)で接続し、Bマイクロホンとは4芯のケブラコード(130m)で接続して、そのコードは曳航索(18mmクレモナロープに5m間隔で直径20cmのハイゼックス浮子を取りつけたもの)に添わせてある(Fig. 39)。曳航索の先端に直径30cmの浮子をつけ、そこからマイクロホンを吊下げ深さを5mとした。船の航走に伴ない水流の

抵抗でマイクロホンが傾斜するので、その下端から姿勢保持用の重錘を吊してある。しかし船の速さによっては傾斜はさけられないので、速い物体を追跡する場合には、特に姿勢保持と浮上防止に効果のある曳航体を開発する必要がある。

両マイクロホンとも同一の構造と特性のもので、水平方向無指向性、共振周波数約25kHz、送波感度+40db(0db:1μBar/V-m)、受波感度約-90db(0db:V/μBar)である。

(3)情報処理記録部

船位、距離、深度およびジャイロコースの諸情報は、I/Oユニット(PC-8012型)を経てマイクロコンピュータ(PC-8001型)へ入力される。水中物体から基準線の両端までの距離(ACとCB)は水深の補正を行なって水平距離を求め、水中物体の方位と緯度・経度を計算する。マイクロコンピュータの出力情報は測定時刻、船位、水中物体の位置、測定距離、深さ、船首方位などで、すべてモニター用ディスプレイ(TM-113V(A)型)に表示する

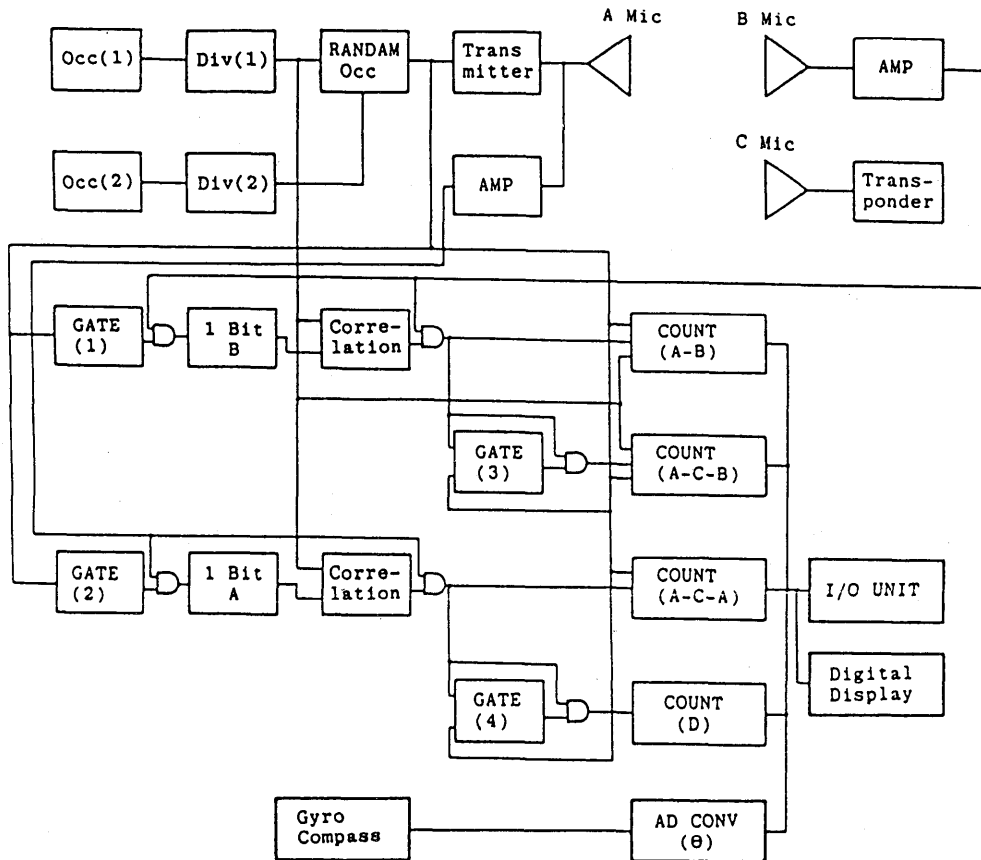


Fig. 40. Block diagram of the tracking unit.

Table 11. Principal items of the tracking unit.

1 System	ultrasonic puls propagation
2 Detection range	10~1,000m
3 Transmitting acoustic pressure	80 db (0 db: 1 μ Bar/m)
4 Ultrasonic frequency	about 25 KHz
5 Transmitter—receiver directivity	horizontal non-directional
6 Precision	less than 10 m
7 Display unit	maximum distance less than 1,000m : 1m maximum distance more than 1,000m : 10m
8 Measurement interval	2 or 5 sec
9 Relative speed	less than 3 knots
10 Trigger signal	external : 1 per 2 sec, internal : 1 per 5 sec
11 Analogue input signal	gyrocompass signal (f=60Hz)
12 Output signal	BCD (TTL), parallel (3 figures, 5 items)
13 Power source	A/C 50/60Hz, 100V \pm 10%
14 Submersible limit of transponder	more than 100m

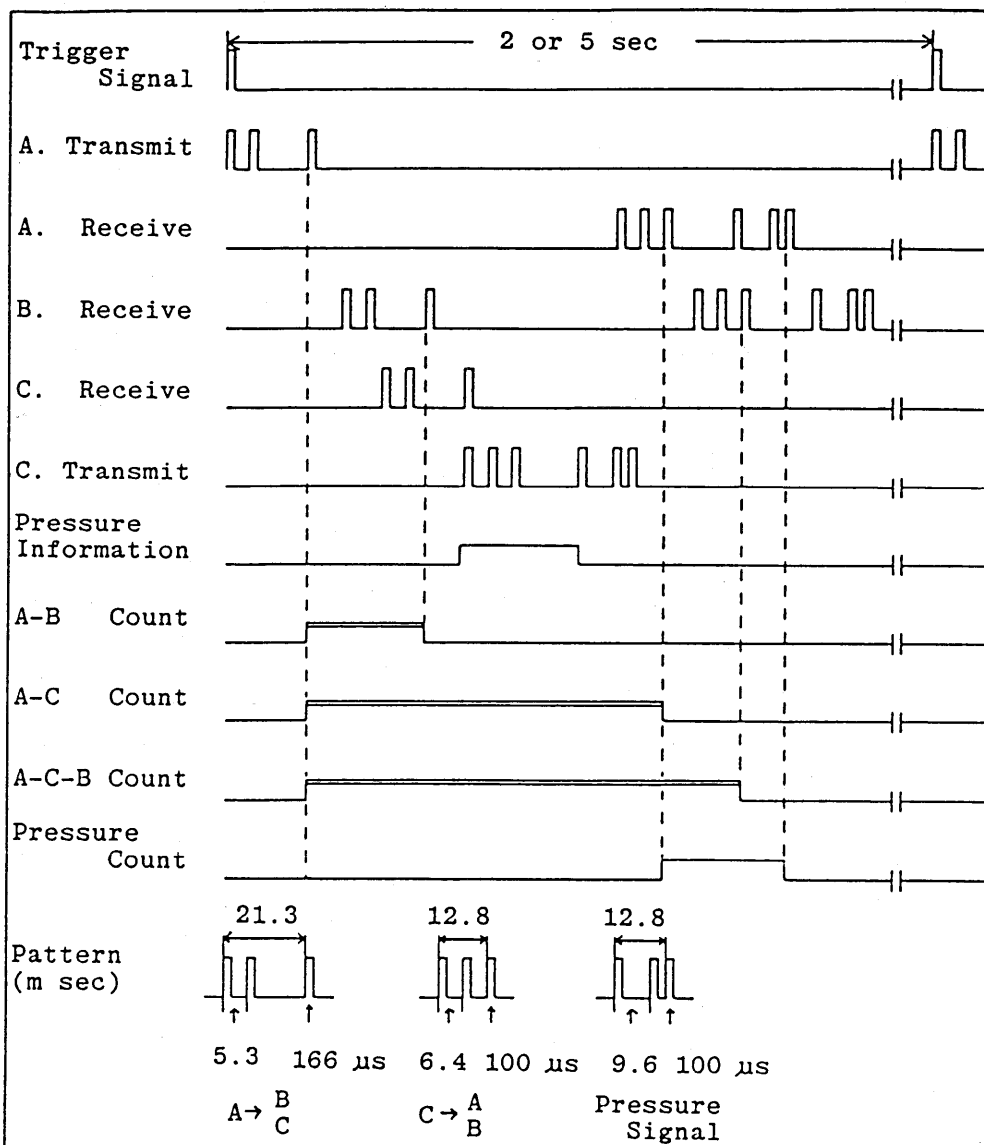


Fig. 41. The signal patterns and the time chart of transmission and reception.



Fig. 42. Information processor; personal computer, 1/0 unit and monitor display.

(Fig. 42)。これらの情報はすべてプリンタ (MP_p-80F/T) に記録し、同時に船位と水中物体の位置を X-Y プロッタ (WX-4675型) に図示する (Fig. 43)。これにより、相互の移動状況を直接監視しながら追跡することができる。

各情報の入出力、計算および記録のプログラムは N-BASIC 言語により作製した。プログラムのロードには、船体の振動や動揺の影響を考慮して、テープレコーダ (PC-6082型) を使用した。これらの機器はすべて市販品であるが、X-Y プロッタには I/O ユニットの経路をさせるためにインターフェースを付加した。

距離測定は通常 5 秒間隔で行ない、それと同時に表示値は更新され、船位も 3~5 秒ごとに更新されるが、マイクロコンピュータの処理・計算速度とプリンターとプロッタの作動時間の関係で、最小測定間隔は約 10 秒である。船速は 2 ノットで秒速約 1 m であるから、10 秒で約 0.005 海里の移動距離にすぎないので、船位センサの測位単位 0.01' の約 1/2 である。従って、10 秒以下の測定間隔が要求されることは少なく、かえって 2 ノット以下の低速を要求されることが多いものと考えられる。従って、調査船は可変ピッチプロペラを装備していることが望ましいが、通常のプロペラでも機関の停止と微速前進を繰返す方法で航進すれば、微速追跡が可能である。

2) トランスポンダ

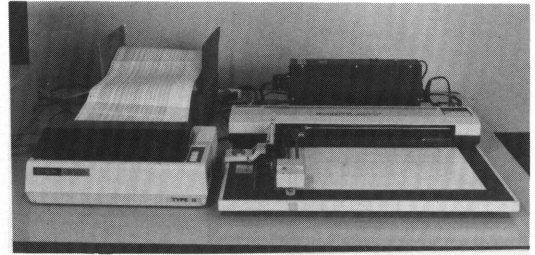


Fig. 43. Information processor; printer and plotter.

水中物体の追跡に応答送信方式を採用する場合に、信号源としてのトランスポンダが小型、装着が容易および寿命が長いことなどが要求される。魚体に装着する方法は体外法、体内法、曳行法に大別される。体外法や曳行法では水の抵抗で魚体におよぼす負荷が大きく、遊泳速度の測定には不向きである。そのため水中曳行法を採用した黒木ら (1969) は、浮力を充分もたせたトランスポンダを開発した。

体内法は胃内に挿入するためおう吐による脱落や、環境条件の情報が得難いなどの難点はあるが、水の抵抗による影響がないという長所がある (白旗, 1971)。しかし、魚の摂餌活動を阻害するため、長時間の追跡には適さない。これらはいずれも小型化することが第一の要件で、数 cm ないし十数 cm の長さのものが用いられている。対象が生物に限定される場合、特に魚体が小さくなるほど小型化に対する研究が重要となる。

本システムでは追跡対象を限定せず、特に追跡方法と位置測定方法および測定精度に主眼を置いて、長時間連続して自由に追跡できるシステムの開発を目的としたから、トランスポンダの大きさや電池の問題については特に考慮していない。また、トランスポンダ本体と送受波用マイクロホンおよび水圧センサーは一体化せず、送受波の能力が十分に発揮できることを目標にして製作した (Fig. 44)。

本体は長さ 50 cm、直径 13 cm のステンレス製の円筒形で、電源は DC 24 V を外部から供給し、マイクロホンとの間は約 120 m のキャプタイヤコード (4 芯) で接続している。キャプタイヤコードの先端部分で 2 芯づつに分けて、一方にマイクロホン、他方に圧力センサーが取り付けられる。本体内部は Fig. 45 のごとく、調査船からのパルス列信号を受信して相関回路でパタン認識をし、超音波パルス列信号に水深情報をのせて送信する機能を有する。

本研究ではシステムの開発自体に目標をおいたの

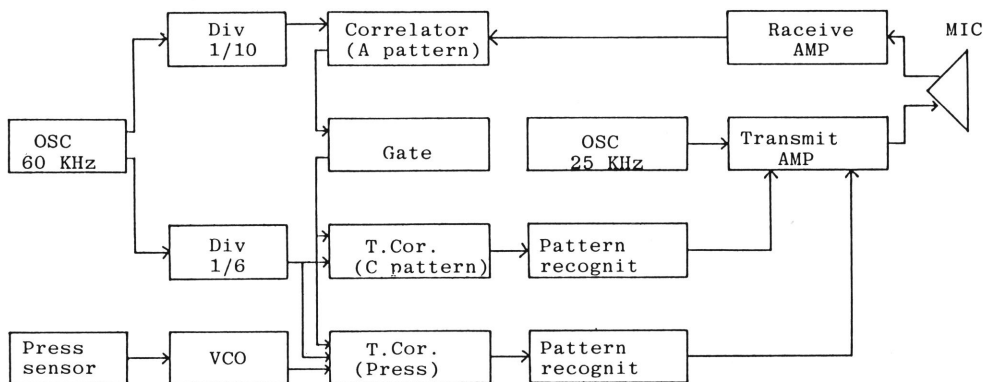


Fig. 45. Block diagram of the transponder.

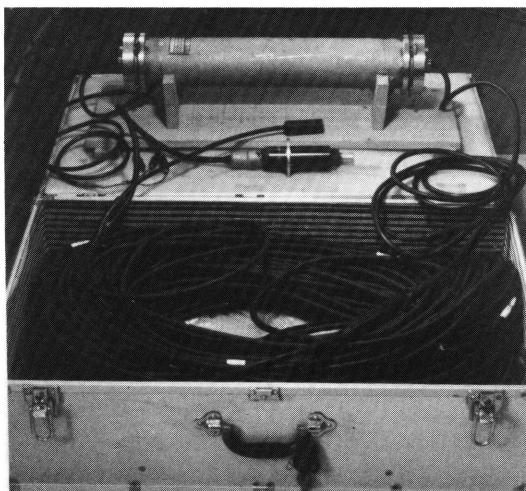


Fig. 44. Tracking unit; transponder and its microphone.

で、トランスポンダの小型化の研究を行っていないが、現状のままでも浮器をつけて水中重量を軽減すれば、ダイバーやロボットに装着して実際に使用可能である。しかし、今後は当然の事ながら小型化して、水中生物の追跡にも使用できるようにする必要がある。

3) 問題点

本方式には水中物体の位置精度を左右する以下のような特有の問題点がある。

1) 調査船が追跡や避航のために変針すると基準線が湾曲するから、その方向は船首方向と一致せず、相対方向に誤差を生ずる。その誤差は変針角度と角速度に比例し、曳航索が一直線になって、基準線の方角と新針路が一致するまで継続する。

2) 調査船が直進していても、船首のヨーイング

(振揺)は避けられない。しかし、曳航索はほぼ直線状態を保持するから、振揺幅の範囲内では基準線の方角は一定とみなせる。従って、ジャイロコンパスの示度をそのまま交角(α)に加えれば誤差を生ずることがあるので、振揺幅を把握してその範囲内では、ジャイロコースは一定として扱うべきである。

3) 水中物体の位置を緯度・経度であらわす場合には、基準とする船位の誤差がそのまま影響するので、船位センサの精度を把握し、補正値を定めておく必要がある。特に追跡範囲が沿岸海域であれば、電波の伝搬速度の変化や陸地の反射などの影響で、ローカルな誤差を伴うことがあるので、きめ細かな評価試験が必要となる。

本システム導入の前提となるこれらの基本的問題について、各種の基礎試験を実施したので、次節以降でその結果について述べる。

第3節 変針と曳航索の湾曲に関する基礎実験

1) 目的

本システムではA、B2個のマイクロホンを結ぶ基準線の方角は船首方向を示すジャイロコンパスの方角と一致するものとしている。しかし変針のために曳航索が湾曲すると、A B間の距離は測定できても方位は船首方向からずれる。従って変針中に測定した水中物体の位置は、A Cの距離と基準線のずれ角による誤差を含むことになる。船が旋回を始めてから新針路に定針し、曳航索が直線状態になるまでは位置誤差を生じ、変針角の大きさによって誤差の大きさと湾曲状態の継続時間が変化する。特に水中物体が遠距離のときには位置誤差が著しく大きくなるから、測定不能ともいえるので湾曲状態の継続時間をできるだけ短くする必要がある。そこで湾曲状態の継続時間の測定とその時間の短縮方法について

て実験した。

2) 方法と結果

変針によって曳航索が湾曲している時間は、同じ

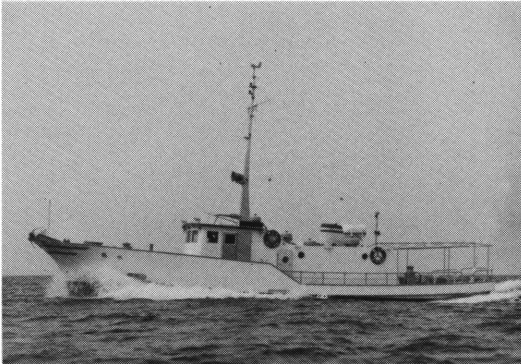


Fig. 46. Research vessel "Kakusui" (27.8 tons), Nagasaki University.

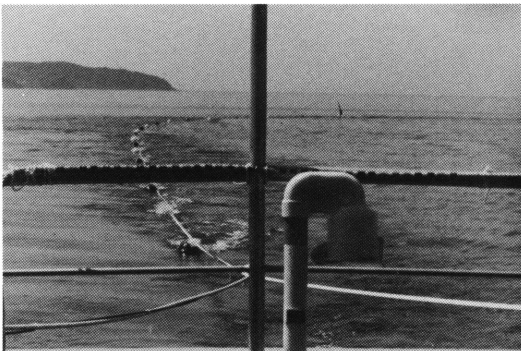


Fig. 47. Curvature of the towing rope while the ship is altering course to left.

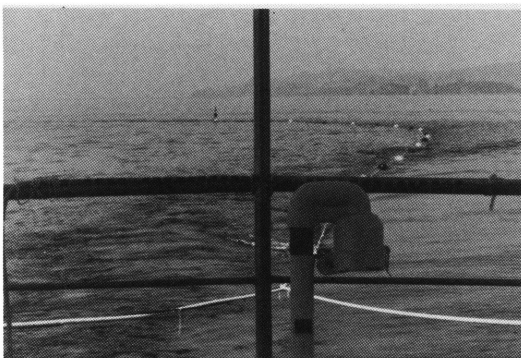


Fig. 48. Curvature of the towing rope while the ship is altering course to right.

船でも変針角度の大きさ、船速、転舵角、吃水などによるほか相対風向と風速によって変化する。実験は無風状態に近く海面が平穏な時と、風速約7mで白波が少したつ状況の時に行なった。実験は以後の諸実験を通じて使用した長崎大学調査船鶴水(28ト)で実施した (Fig. 46)。旋回中の曳航索の状態をFig. 47, 48に示した。

1) 無風状態における測定

船速は2, 4ノットで変針角度を 20° ~ 180° として、それぞれ新針路に定針するまでの時間と、曳航索が直線状態になるまでの時間を測定した。変針方法は変針角度と転舵角度の関係を一定にするために、オートパイロットによる自動変針法を用いた。測定結果を Table 12に示す。

船首が新針路に定針するまでの時間(定針時間)は実験速力の範囲では変針角度 90° でも0.4~0.7分であるが、曳航索が直線状態となるまでの時間(曳航索静定時間)は定針時間の2~6倍に達する。変針前の速力はあまり関係なく、転舵をはじめてから速力をあげて舵効をよくすると、変針前からその速力で航走している場合と同じ効果がある。速力4ノットで変針角度が 45° 以下ならば、曳航索静定時間は1~1.7分である。

更に自動操舵装置の針路設定ツマミを、変針角度より一定角度(+ α)多い針路に設定し、一旦その針路に達してから α だけ戻して、予定針路に設定する方法を用いた結果が Table 13である。その結果、曳航索静定時間を短縮できるが、変針角度 90° のとき+ α を 30° とした場合と、 45° にした場合とで短縮時間にはほとんど差がない。変針角 45° のときに+ α を 45° にすれば、静定時間が長くなり逆効果になる。

2) 風速約7m/secにおける測定

航進速力はすべて2ノットに限定し、変針角度 45° ; + α を 15° にして受風方向を船首方向から船尾方向まで 45° ごとの5方向について、また変針角度 90° ; + α が 30° の場合には、船首尾方向と正横方向から風を受けて、前回と同様に所要時間を測定した。その結果が Table 14, 15と Fig. 49, 50である。図は実線で右旋回、点線で左旋回の角度を示し、中心からの目盛は所要時間を示す。各線の内側のものは定針時間で、外側は曳航索静定時間である。

変針角度 45° では、その定針時間は旋回方向に関係なく、すべて0.9~1.2分の範囲であった。左旋回は風上側へ向うことになるが、風圧の影響はみられない。曳航索静定時間は旋回方向によって差があり、

Table 12. Altered angles and times required from the beginning of turning till new course was set and towing rope formed a straight line. While altering course, the ship's speed was changed to 2~4 knot in cases of 1-5~1-9 (R: right, L: left).

No	Speed (knot)		Altered angle (deg.)	Time Required	
	Proceeding	Course altering		Set new course	Towing rope form a line
1-1	2	2	R 180	1' 05"	4' 33"
1-2	2	2	L 180	1 01	4 55
1-3	2	2	R 90	40	3 19
1-4	2	2	R 90	36	3 38
1-5	2	4~2	R 90	23	2 53
1-6	2	4~2	R 90	30	3 36
1-7	2	4	R 90	28	2 03
1-8	2	4	R 90	23	1 53
1-9	2	6	R 90	22	1 31
2-1	4	4	L 90	33	1 56
2-2	4	4	R 45	19	1 40
2-3	4	4	R 45	17	1 38
2-4	4	4	L 45	18	1 36
2-5	4	4	L 30	13	1 26
2-6	4	4	R 30	14	1 23
2-7	4	4	R 20	11	1 33
2-8	4	4	L 20	12	54
2-9	4	4	R 20	11	1 15
2-10	4	4	L 20	11	1 35

Table 13. Altered angles and times required from the beginning of turning till new course was set and towing rope formed a straight line. At first, ship's headd was altered to prearranged course plus α degrees, then altered back to new course (R: right, L: left).

No	Speed (knot)	Altered angle (deg.)	+ α Angle (deg.)	Time required		
				Set new course + α	Set new course	Towing rope form a line
3-1	2	L 90	30	50.5"	1' 37"	2' 45"
3-2	2	R 90	30	48	1 33	2 50
3-3	2	R 90	30	44	1 20	1 50
3-4	2	L 90	30	46.5	1 19	2 08
3-5	2	L 90	45	37	1 36	2 12
3-6	2	R 90	45	48	1 31	2 02
3-7	3	L 45	45	47	1 19	2 27
3-8	3	R 45	20	27	54	1 35
3-9	3	L 45	20	34	55	1 45
3-10	3	R 20	10	14	44	1 10

Table 14. Times required for the alteration of course (altered angles 45° ; R : right ; L : left).

Wind direction (deg.)	Altered angle (deg.)	Time required (min)	
		Set new course	Towing rope form a line
0	R45	1.1	2.1
0	L45	1.0	1.9
L 45	R45	1.2	1.9
L 45	L45	1.0	2.2
L 90	R45	1.1	2.0
L 90	L45	1.0	3.0
L 135	R45	1.0	2.3
L 135	L45	1.0	2.6
180	R45	0.8	3.0
180	L45	1.0	2.3

Table 15. Times required for the alteration of course (altered angles 90° ; R : right ; L : left).

Wind direction (deg.)	Altered angle (deg.)	Time required (min)	
		Set new course	Towing rope form a line
0	R90	1.4	2.6
0	L90	1.4	2.5
L 90	R90	1.7	2.9
L 90	L90	1.7	2.7
180	R90	1.3	2.9
180	L90	1.5	2.9
R 90	R90	1.3	2.7
R 90	L90	1.3	2.8

右旋回では1.9~2.3分であるのに対し、左旋回では全般的に長くなり、受風方向によっても差がある。変針角度 90° では定針時間1.3~1.7分で、曳航索静定時間は2.5~3分になるが旋回方向による差は小さい。

3) 考察

ほぼ無風状態で海上が平穏な状態において、変針角度と速力をかえて測定した結果、転舵と同時に増速すれば、変針前からその速力で航走していた場合と所要時間はほぼ同じである。また、予定針路より一定角度 (+α) 余計に変針してから、再び予定針路に戻す方法をとれば、増速と同じ効果がある。その +α 角度は変針角度の約 1/3 位が適当である。増速により所要時間を短縮しても、船の定針後曳航索が静定するまでの航走距離が長くなるから、水中物

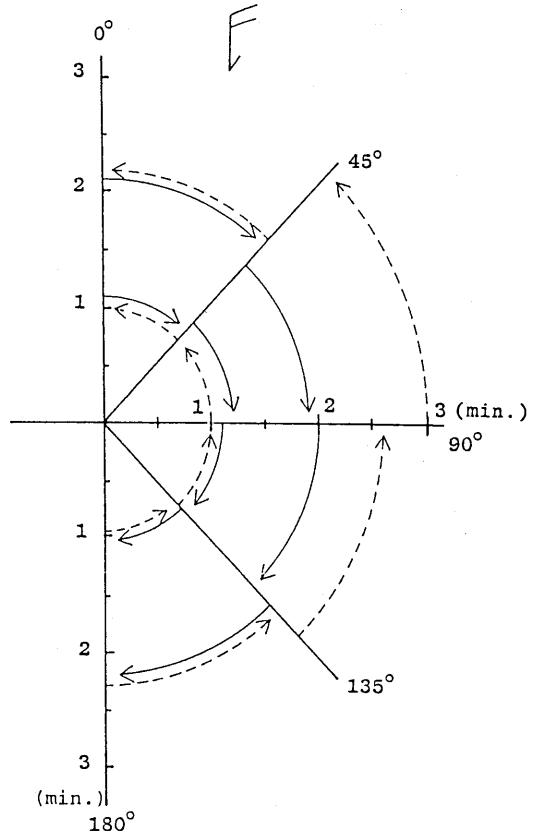


Fig. 49. Times required for the 45° alteration of course from the beginning of turning till new course was set (internal) and towing rope formed a straight line (external), (relative wind directions: fore, aft, abeam and quarters of port side; solid arrow: alteration of course to right; dotted arrow: alteration of course to left).

体の速度がおそいときには好ましくない。従って低速のまま所要時間を短縮するには、+α 角度オーバーしてから戻す方法が有効である。

1) 変針角度 45° の場合、船速 2~3 ノットで、+α 角度を 20° にすれば約 1.5 分で曳航索が直線状態に静定する。風速が 7 m/sec 位でも定針時間は 0.1~0.3 分程度の増加にすぎないが、静定時間は受風方向によって差があり 0.4~0.9 分増加する。すなわち風上側へ旋回する方が 0.3~1 分長くなる。しかしながら、前述のごとく定針時間はそれほど長くないこととして、船が風下に圧流されるために、船首尾線と、曳航索が一線になるまでに、より長い航走距離を必要とすることが考えられる。

風上側へ旋回する場合には、受風方向が正横附近のとき、すなわち船首から 45°~135° のときに静定時

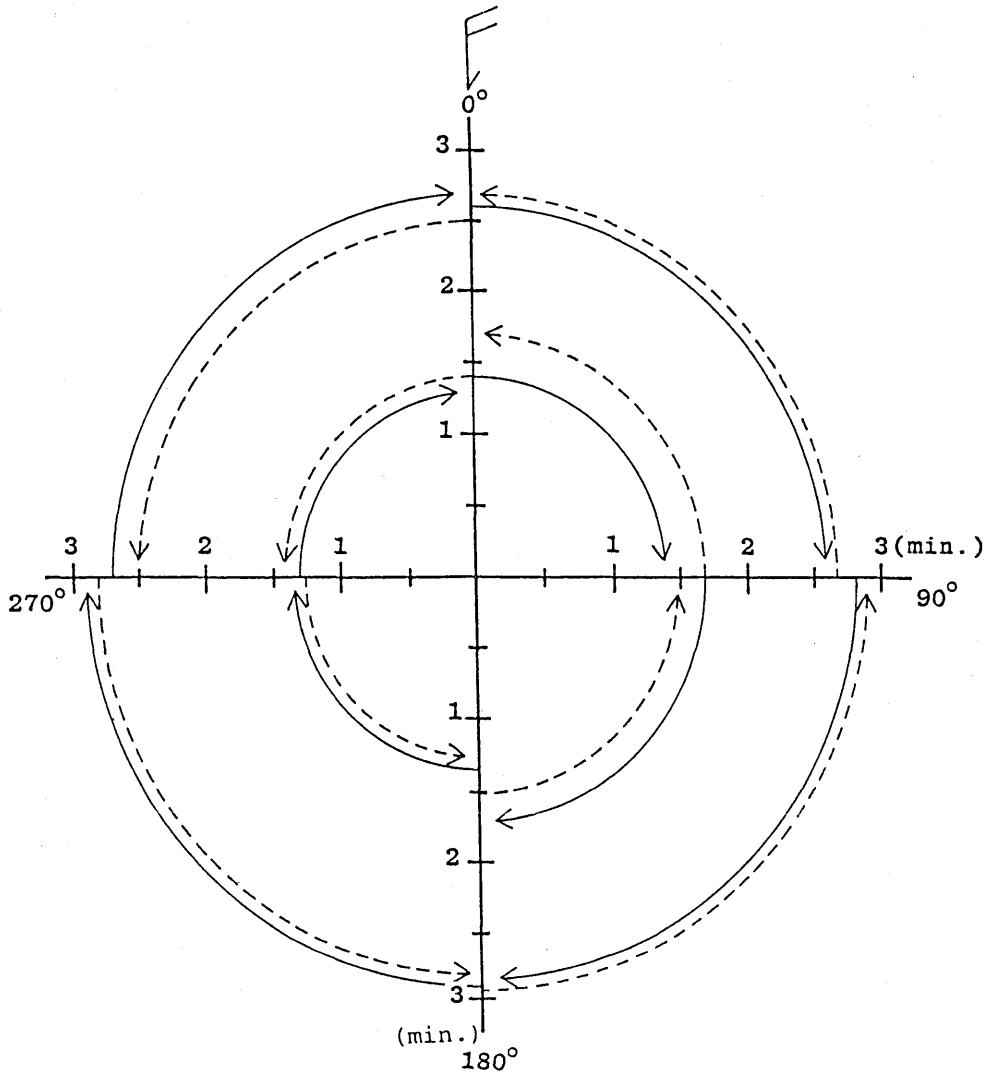


Fig. 50. Times required for the 90° alteration of course from the beginning of turning till new course was set (internal) and towing rope formed a straight line (external), (relative wind directions: fore, aft, and abeam; solid arrow: alteration of course to right; dotted arrow: alteration of course to left).

間が長くなる。その原因としては、曳航索が直線状態になるためにはその長さ以上の距離を船が直進しなければならないが、旋回により減速されて定針しても横方向へ圧流され、曳航索の係止点が一旦弧を描いてから直線を描くように移動するためであると考えられる。また、風圧と風波により速力が低下するので、曳航索が直線状態になるのに必要な距離を航走する時間が長くなることも一因であろう。一方、風下側へ旋回する場合には、船が曳航索の側へ圧流され、変針前の速力にもどるまでの間にも、曳航索を直線に近づけるように移動するから、静定時間が短くなる。

2) 変針角度 90° では、変針角度が 1) の場合の 2 倍になっても各所要時間は 0.1 ~ 1 分程度長くなるのみである。風があっても受風方向による所要時間の変化は少ない。定針時間は、風向が左舷正横のとき旋回方向によって 0.2 分の差があるが、他の船首方向の場合にはほぼ等しい。静定時間は風を真横から受けて風下側へ旋回するとき、風上側へ旋回するときでは前者の方が小さく、変針角 45° の場合とは反対の傾向を示している (Fig. 50)。

3) 定針時間の測定はジャイロコンパスの目盛が設定針路と一致したときまでとしているが、風浪のため ± 3° 前後のヨーイングがあり (次節参照)、

設定針路から数度離れた針路に定針しても、ヨーイングによって目盛が一致すれば定針したと判断されることがあり、実際より短かく測ることもある。また、曳航索の静定時間の測定においても、浮子がほぼ一直線に並んだ時刻を測定したが、風浪により局部的に湾曲していても静定したものとみなした。その判断は目視によるものであるから、数秒ないし十数秒の誤差が含まれていると考えられる。従って、相互に比較した場合の0.1~0.2分の差によって特定の傾向を断定することはできない。しかしながら、各条件下における所要時間は左右旋回の平均値をもって示せば、ほぼ妥当な値といえよう。

実際上は、プロットに記録される相対的な位置関係を見ながら、早目に小角度の変針をくりかえして追跡すれば、水中物体の位置精度が低下する時間の短縮に効果的であろう。また変針中でも距離は連続的に測定されるから(約10秒間隔)、プリンタの記録によりオフラインで補間して推定することも可能である。なお基準線AB間の距離は曳航索が湾曲すれば短縮するから、ABの距離の変化状況を調べれば、曳航索の状態を推定できる。

4) たとえ短時間であっても変針中には測位精度が低下したり、測定不能になったりすることは、本システムの主要目的の一つである連続性が満たされないことになる。この点についての改善策としては、曳航索の先端の方位測定センサを用いる方法がある。しかし現用の機器には一長一短があり、簡便なセンサとして容易に利用できるものはない。

現状で利用可能なものとしては、曳航索の先端にレーダブイをつけて、衝突防止装置付レーダで捕捉追尾させ、その方位・距離情報をオンライン入力させる方法がある。この装置は高価かつ大型で小型船には装備が困難であり、また移設もできない。今後この装置が小型化され価格が低廉化されて、小型船にも容易に装備されることを期待したい。その他、無線方位測定機やレーザの利用も考えられるが、前者では船体磁気による誤差を生じて測定精度が低下する。後者では船体や目標の動揺に対する自動追跡の可能な装置の開発が先決であるなどの問題がある。

第4節 調査船のヨーイングと基準線の方向に関する基礎実験

1) 目的

一般に船舶が航走するときには、平穏な水面上でもスクリュー・カレントや船体の左右がアンバランスなどのため直進できず、船首を左右に振るヨー

イングが生ずる。このヨーイングの大小、すなわち保針性の良否は船の形状、速力、吃水、操舵方法などのほか海況や風圧の影響によって変化する。

本システムでは基準線とする曳航索の方向が船首方向と一致することを前提としているから、ヨーイングの振幅と曳航索の直線性の保持が重要な問題となる。船首方向がヨーイングによって変化しても曳航索は直線状態を保っており、ヨーイングの振幅が一定範囲内であれば、船首方向は一定として扱った方がよい。本実験は船首のヨーイングの状況と振幅の把握を風圧との関連で調べることを目的として、無風状態の日と風速約7 m/secの日に行なった。

2) 方法と結果

調査船鶴水の速力を約2ノットに保ち、オートパイロットで操舵して航進する。船首方向はジャイロコンパスで読取り、同時に曳航索(100 m)の先端に取付けた直径30cmの浮子が船首尾線から左右にずれる角度を六分儀により、30秒間隔で15分間測定した。Fig. 51(a)~(f)は無風時における曳航索の状態を示したものである。

風速7 m/secの場合には受風方向をかえて測定するとともに、速力の変化の影響を調べるため、風向45°の時、速力を3ノットにした場合の測定も行なった。なお、船首方向のずれ角は針路より右方へずれた場合をプラスとし、浮子のずれ角は浮子が右舷側へずれた場合をマイナスとした。

1) 無風状態における測定

船首のヨーイングと浮子のずれ角の時間的な変化の状況を示したものがFig. 52で、(A)はジャイロコンパスによる船首方向、(B)は浮子の振揺を示す。図中の点線は平均値と標準偏差をあらわす。

2) 風速約7 m/secにおける測定

風を受ける方向を右舷45°、135°と左舷90°および船尾の4方向にかえて、1)と同様にして測定し、その結果から振揺曲線を描いたものがFig. 53(a~e)である。各図に記入してある平均値と標準偏差をまとめたものがTable 16である。

3) 考察

曳航索には5 m間隔で直径20cmの浮子がつけてあるから、水流の抵抗を受けてほとんど直線状態を保っている(Fig. 51(a~f)参照)。船首は船体のほぼ中央附近に存在するピボット・ポイント(旋回運動の中心点)を中心として左右に振れるから、船尾は常に反対側へ振れることになる。曳航索の先端が左右に振れる原因が船首のヨーイングのみであれば、

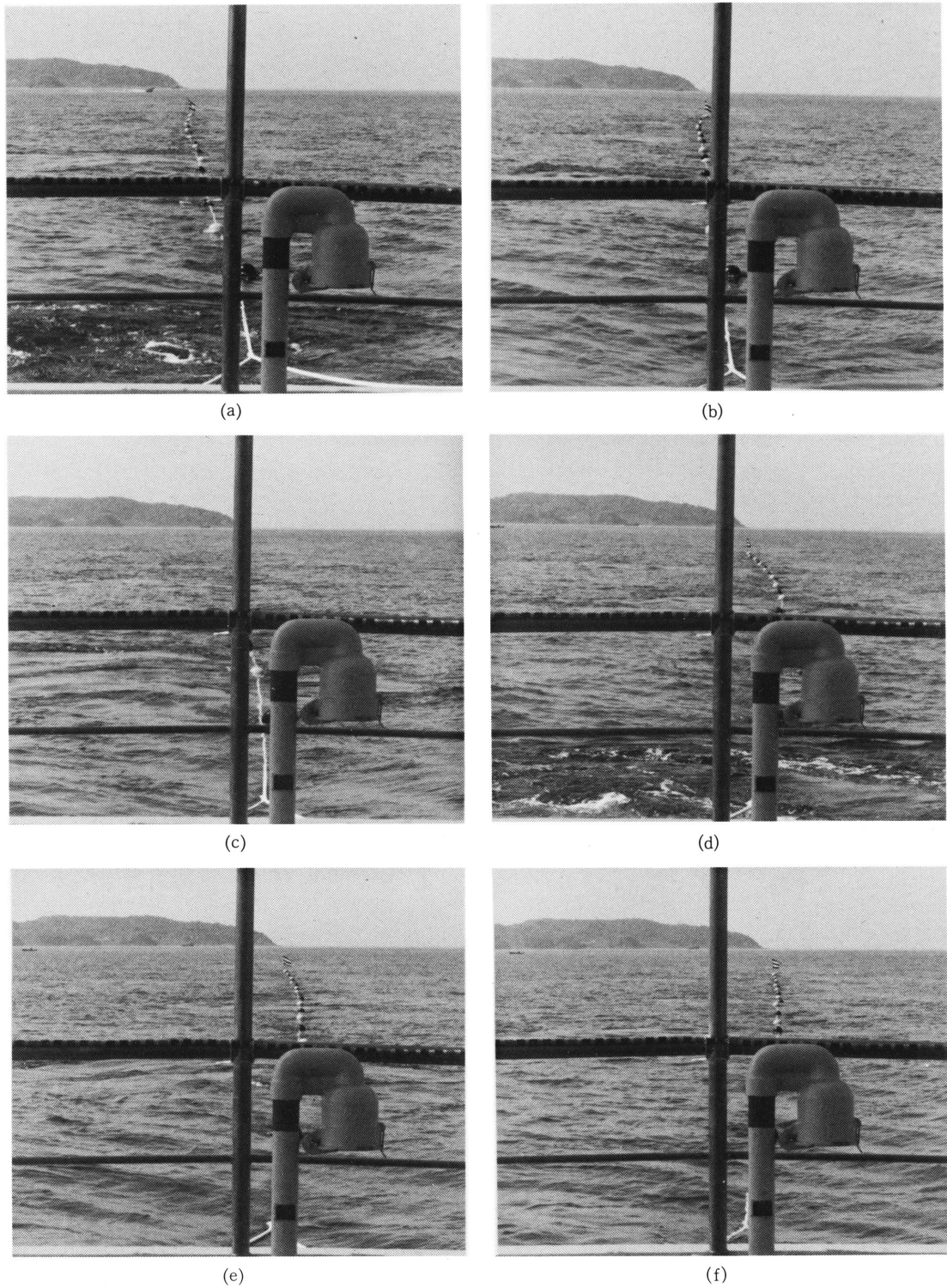


Fig. 51 (a~f). The relation of yawing and stability of towing rope moving straight ahead, sea condition calm.

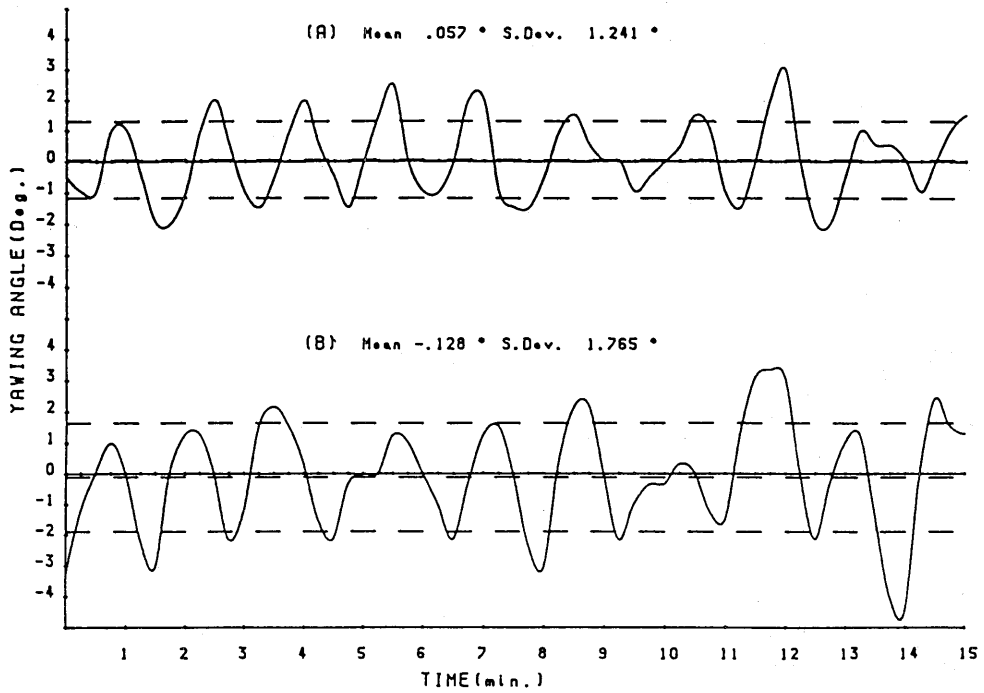


Fig. 52. Yawing angles of ship's head (fluctuation of gyrocompass course) and the end bouy of rope, sea condition calm (A: ship's head; B: bouy).

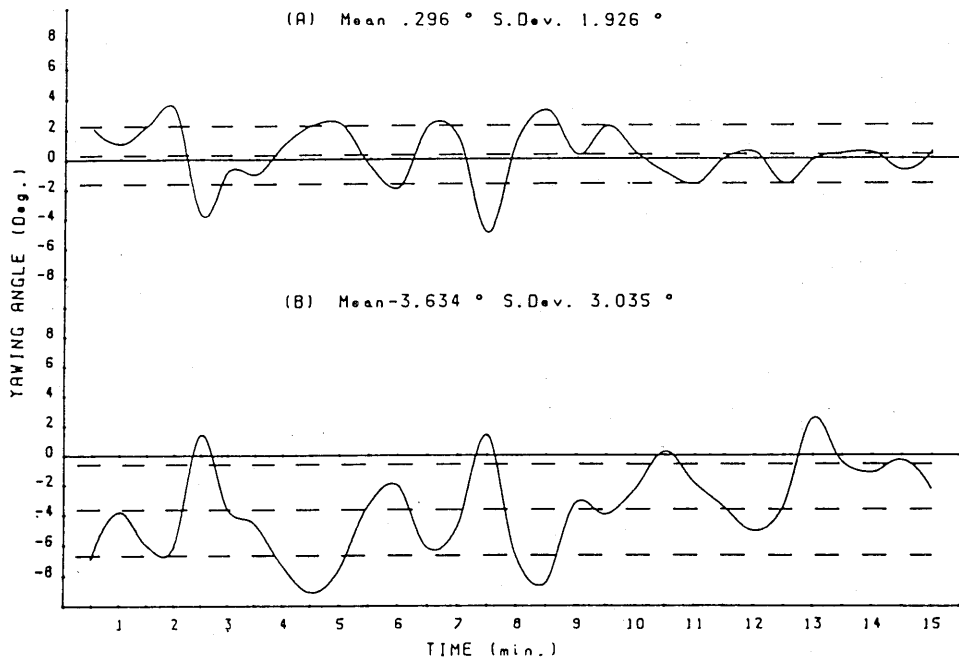


Fig. 53 (a). Yawing angles of ship's head (fluctuation of gyrocompass course) and the end bouy of rope (A: ship's head; B: bouy; relative wind direction and speed: starboard side 45° , 7 m/sec ; ship's speed: 2 knots).

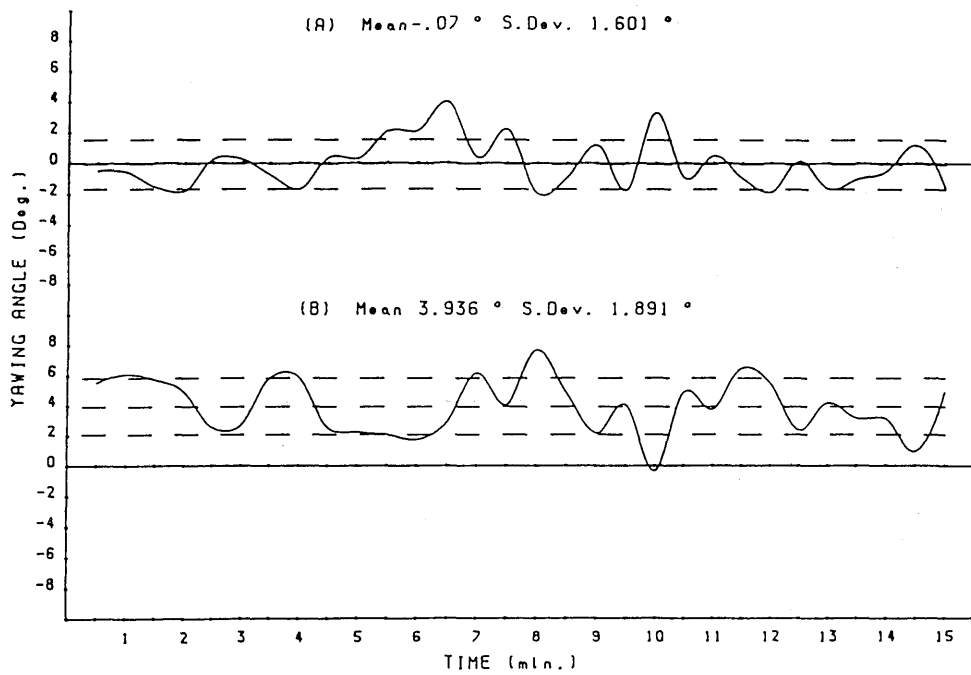


Fig. 53 (b). Yawing angles of ship's head (fluctuation of gyrocompass course) and the end bouy of rope (A: ship's head; B: bouy; relative wind direction and speed: port side 90° , 7 m/sec ; ship's speed: 2 knots).

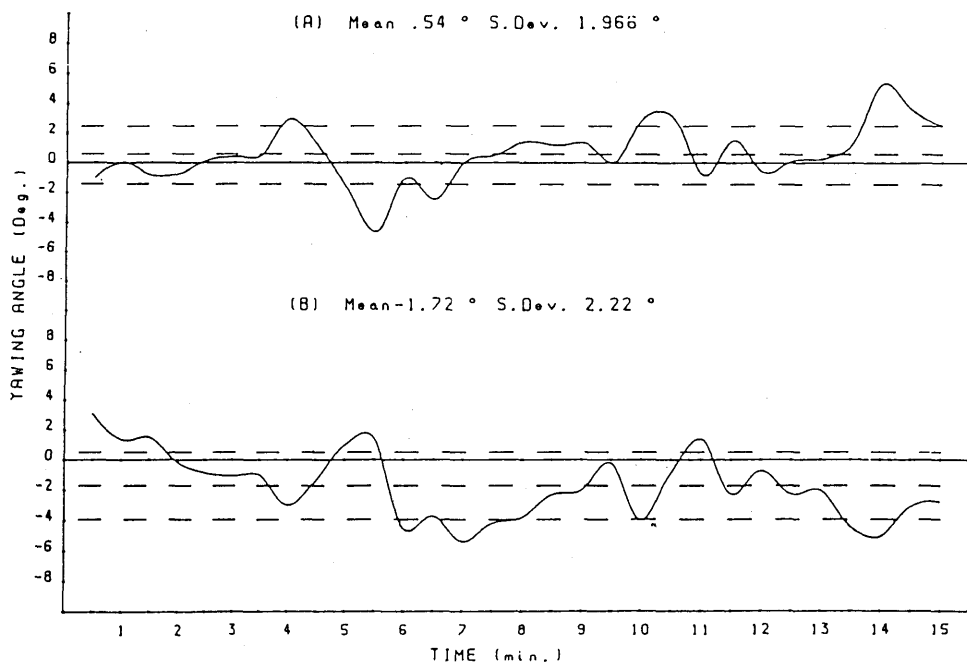


Fig. 53 (c). Yawing angles of ship's head (fluctuation of gyrocompass course) and the end bouy of rope (A: ship's head; B: bouy; relative wind direction and speed: starboard side 135° , 7 m/sec ; ship's speed: 2 knots).

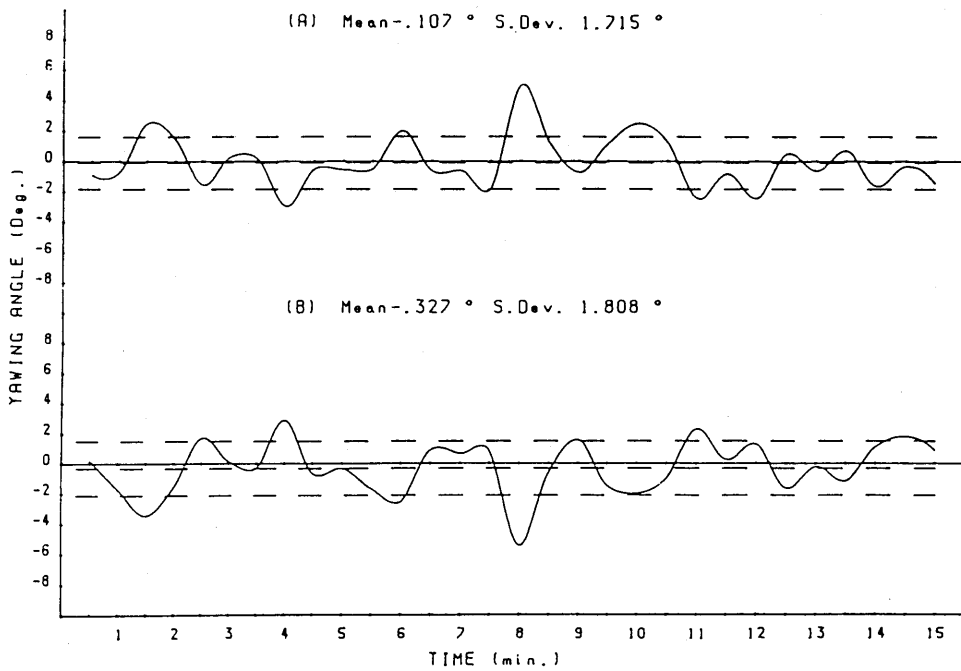


Fig. 53 (d). Yawing angles of ship's head (fluctuation of gyrocompass course) and the end bouy of rope (A: ship's head; B: bouy; relative wind direction and speed: aft, 7 m/sec; ship's speed: 2 knots).

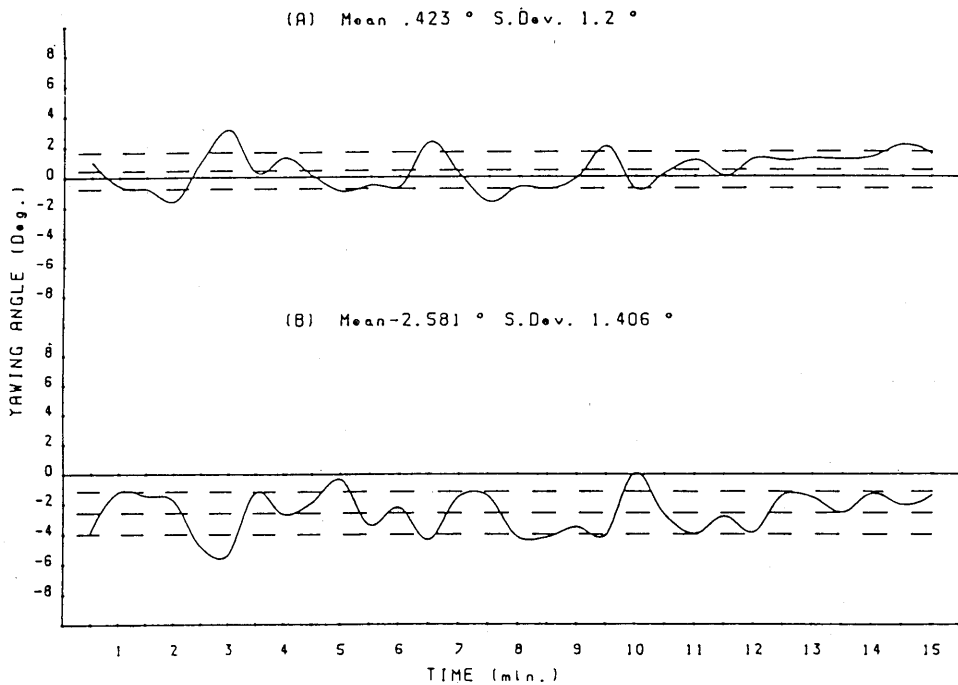


Fig. 53 (e). Yawing angles of ship's head (fluctuation of gyrocompass course) and the end bouy of rope (A: ship's head; B: bouy; relative wind direction and speed: starboard side 45° , 7m/sec; ship's speed: 3 knots).

2本の振揺曲線は互いに反対の位相になる筈である。しかし、曳航索には僅かながら横方向の成分も加わり、操舵によりスクリュー・カレントが曳航索の方向と一致しないこともあるので、曳航索は完全な一直線にならない。そのため先端の浮子がわずかに蛇行することや、測定上の誤差と時間のずれによる誤差などが重なり合って、位相のずれが生ずるものと考えられる。

無風状態では1.5～2分の周期でヨーイングし、その振幅は約 $\pm 2^\circ$ であった。これは微速力で舵効きがよくないことと、自動操舵のために設定針路にもどすための戻し舵の角度が小さいことによるものである。曳航索の先端は、前述のごとく浮子の舵行が加わり、振揺周期がやや長くなることもあって、位相がずれている。さらに振幅の変動も大きくなって標準偏差が1.5倍程度になる。しかし、平均値は 0.3° 以下で、船首尾線と基準線はほぼ一致しているとみなせる。従って針路に $\pm 2^\circ$ の遊び幅をもたせ、その範囲内では直進するものとして、基準線の方位を決定すればよい。

風速約7 m/secで白波が少したつようになると、風圧の横方向成分により船体が圧流されて、浮子が船の圧流される方向と反対側に偏り、基準線が船尾の曳航索係止点で折れ曲った形となる。Fig. 53(d)は船尾から風を受けた場合で、追い波の影響により保針性が低下して振揺曲線(A)の振幅は無風時より大きくなるものの、曲線(A)と(B)の平均値の差は小さく、ほとんど折れ曲っていない。しかし、相対風向が横へ移動すると曲線(B)の平均値の絶対値が大きくなり、特に正横から風を受けると約 4° に達する。しかし、

この場合には船体が一様に圧流されるから、保針性はよく曲線(A)の標準偏差は船尾から受けるときよりもやや小さい。また曲線(B)の標準偏差についても同じことが云える (Fig. 53(b))。風を斜横方向から受けると、風浪により船首や船尾が圧流されて保針性が低下し、曲線(A)の標準偏差は正横から風を受けるときよりもやや大きくなり、その影響で曲線(B)でも同じ傾向があらわれる。特に 45° 方向から風を受けるとこの傾向が著しいので、同一針路のまま速力を3ノットにして航走すれば、保針性がよくなると共に曲線(B)の平均値も減少し、圧流も少なくなる (Fig. 53(e))。しかしながら、3ノットでは秒速約1.5 mになり、水中物体の移動速度がそれ以下(多くの魚類では秒速1 m以下)の場合には速すぎるから、2ノット程度の速さで追跡することができる限界の風速は6～7 m/secと考えられる。

全般的に、船首が $\pm 2\sim 3^\circ$ の幅でヨーイングしても、曳航索はほぼ直線状態を保っているものとみなせる。従って、基準線の方位はジャイロコンパスの示度をそのまま用いるよりも、設定針路に一定の遊び幅をもたせた方がよい。トラッキング・ユニットでは、距離情報を受信したときに入力されたジャイロ信号を基準線の方位とし、トランスポンダの方位を計算するので、そのときのジャイロ信号をその前のジャイロ信号と比較して、海況に応じて決定した遊び幅以上の差があれば、新しいジャイロ信号を設定針路として処理するようにプログラムを作製した。

第5節 実験海域における船位の精度に関する基礎実験

1) 目的

Table 16. Mean values and standard deviations (S. D.) of yawing angles of ship's head and the end bouy of rope in each relative wind direction.

Wind speed (m/sec)	Relative wind direction (deg.)	Ship's speed (knot)	Yawing angle (deg.)			
			(A)		(B)	
			mean	S. D.	mean	S. D.
0		2	0.57	1.241	-0.13	1.765
7	R 45	2	0.30	1.926	-3.63	3.035
7	L 90	2	-0.07	1.601	3.94	1.891
7	R 135	2	0.54	1.966	-1.72	2.220
7	180	2	-1.07	1.715	-0.33	1.808
7	R 45	3	0.42	1.200	-2.58	1.406

水中物体の位置は電波航法機器をセンサとして測定される船位を基準点とし、緯度・経度で表示される。本システムの測位センサにはデッカまたはロランCシステムを単独で使用、あるいは併用する。すでに述べたように前者には高精度、後者には広い利用範囲と云う特徴があるが、それぞれ固有の誤差を含んでいる。特に、利用海域が沿岸附近の場合には、電波の伝搬速度が海上と陸上とで異なるために海岸線誤差を生じ、陸地の地形によって伝搬経路が長くなったり位相速度が変化するために誤差が生ずる。また、地磁気や船体磁気の影響を受けて、船首方向によって位相が変化するなど、電波伝搬上の原因によって測位結果に誤差が含まれる(田口・佐尾, 1981, 田口・山下, 1981)。

両システムとも海域によって測定位置の定誤差がかなり変化することもあるが(第2章参照)、一般に有効利用範囲(地表波伝搬範囲)内では昼間の再現性はよく、安定している。一方、位置誤差は伝搬経路と送信局からの距離によって変化するため、通常は0.1海里単位の値であるが、時として1海里におよぶこともある。従って、測定海域における定誤差を把握しておき、測位結果を補正することが必要である。そのために、本研究の実験海域である長崎港外の伊王島沖附近(Fig. 54参照)において、両システムのプロセッサによる位置の精度把握の目的で測定を行なった。

2) 方法

測定海域は伊王島の北側で、東西約2.5海里、南北約3海里の範囲に約1海里の間隔で11点を設定した。当日の海上は平穏で風波の影響はなかったが、海潮流の影響で船が振れまわるのを防止するため、各測定点で調査船鶴水を船首側と船尾側の両方に投錨して固定した。

基準位置は六分儀による三標両角法で決定したが、測角誤差を除くために2名で交互に2~3回測定して相互にチェックした。測定物標には眼高とほぼ同じ高さで位置が正確な平瀬灯台、長崎港口防波堤灯台、小江沖防波堤灯台、式見港防波堤灯台、大中瀬戸北灯台のうちから、測点ごとに水平角が 60° に近い3灯台をえらんだ。位置決定には通常三かん分度器が使用されるが、記入上の誤差を生じ易いからすべて計算によって決定した。なお灯台の位置は長崎航路標識事務所の資料によるもので0.1秒単位であらわされている。

デッカ位置は北九州チェーンの赤局と緑局の組合せ

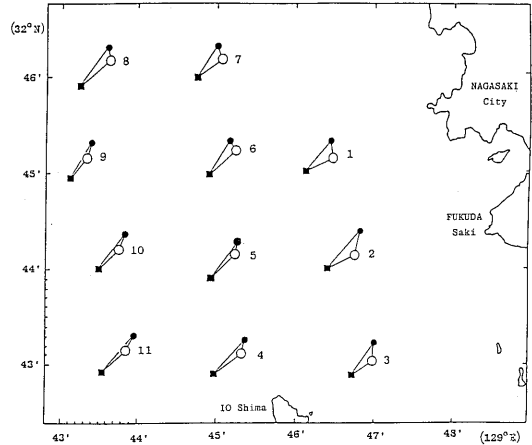


Fig. 54. The relation between three kinds of fixes by Loran C (5970 chain X-Y rate: solid dot), Decca (Kitakyushu chain Red-Green pair: solid square) and horizontal sextant angles (open dot), in the prearranged examination area, off Nagasaki Harbour.

(R-G:Fd), ロランC位置はCOMAND LIONチェーン(5970チェーン)のX局とY局の組合せ(X-Y:Fc5)によるものが最も再現性がよいので(第3章参照)、両位置を自動式受信機で測定した。これらの位置と基準位置を比較して、それぞれの偏位量を求めたものがTable 17であり、各位置をプロットして、相互の関係を三角形で示したものがFig. 54である。

各測点の間における相対誤差の変化を調べるため、上記の両組合せのほかにロランCの北西太平洋チェーン(9970チェーン)のX局とY局の組合せによる位置(Fc9)も含めて、3種類の位置を航走しながら測定して、オンラインでプロットしたものがFig. 55である。

3) 結果

1) Fig. 54に示した基準位置からのFdとFc5の偏位は、南北方向(D. lat)と東西方向(Dep)とに分けると、各測点でまちまちであるが、3個の位置で形成される三角形の形状によって3種に大別できる。すなわち、(1)二等辺三角形に近い形で面積の広い測点1, 2, 3のグループ(G1)、(2)細長い形をした測点4, 5, 9, 10, 11のグループ(G2)および(3)中間的な形の測点6, 7, 8のグループ(G3)である。

測点1ではD. latとDepはFd, Fc5とも、平均値との差が $\pm 0.01 \sim 0.03$ 海里にすぎず、FdとFc

Table 17 Differences of fixes by Loran C (5970 chain X-Y rate) and Decca (Kitakyushu chain Red-Green pair) compared with the fix of horizontal sextant angles (S. D. : standard deviation).

No.	Station		Difference of Decca Fix					Difference of Loran-C Fix				
	lat.	Long.	D.lat.	Dep.	D. Long.	Bearing	Dist.	D. lat.	Dep.	D. Long.	Bearing	Dist.
1	32°45.23'	129°46.49'	-0.18'	-0.27'	-0.32'	236.4°	0.32'	0.17	-0.02'	-0.03'	352.0°	0.17'
2	44.23	46.90	-0.14	-0.29	-0.35	244.5	0.32	0.24	0.05	0.06	12.6	0.25
3	43.12	47.03	-0.15	-0.22	-0.25	235.7	0.27	0.19	0.01	0.01	3.1	0.19
4	43.18	45.36	-0.22	-0.30	-0.35	233.1	0.37	0.16	0.05	0.06	16.7	0.16
5	43.24	45.27	-0.25	-0.24	-0.29	223.8	0.35	0.12	0.01	0.01	5.2	0.12
6	45.29	45.25	-0.25	-0.27	-0.32	227.1	0.37	0.10	-0.06	-0.07	329.5	0.12
7	46.21	45.07	-0.18	-0.26	-0.31	235.5	0.32	0.13	-0.06	-0.07	335.6	0.14
8	46.20	43.65	-0.26	-0.31	-0.37	230.0	0.41	0.11	-0.02	-0.02	351.0	0.11
9	45.19	43.71	-0.21	-0.19	-0.22	221.8	0.28	0.14	0.04	0.05	16.2	0.15
10	44.25	43.79	-0.21	-0.22	-0.26	225.9	0.31	0.15	0.06	0.07	21.4	0.16
11	43.19	43.91	-0.23	-0.26	-0.31	228.7	0.34	0.15	0.08	0.09	26.9	0.17
Mean			-0.21	-0.26	-0.30	231.1	0.33	0.15	0.01	0.02	4.8	0.15
S. D.			0.041	0.037	-0.046			0.040	0.048	0.056		

との相対偏位も D. lat が0.35海里, Dep が0.27海里で, これらの平均値との差も0.01~0.02海里であるから, 各辺の長さが各位置間の平均距離を示す三角形となっている。同じグループの測点2, 3ではFdのD. latは小さいが, Fc 5のD. latは大きく, ともに平均値より0.04~0.09海里北偏しているが, G 3の測点6, 8では反対に平均値より0.04~0.05海里南偏している。またG 3ではFdが0.02~0.06海里西偏しているために, 他のグループと異なった三角形となっている。G 2では測点5を除きFc 5が東偏しているものの, Fdには一様な傾向はみられない。FdとFc 5との相対偏位の平均値はD. lat 0.358海里, Dep 0.270海里で, Depの最大と最小の幅は0.14海里におよび, D. latの幅0.07海里的2倍に達している。

以上の事から, Fd, Fc 5とも緯度方向の位置の線 (Fdでは緑従局, Fc 5ではX局による) は場所による変化が少ないが, 経度方向に近い位置の線 (Fdでは赤従局, Fc 5ではY局による) は場所によって変化しやや不安定である。Fd, Fc 5とも平均位置より測点2, 3で北偏し, 測点6, 8では南偏していることは, 両者の誤差が同時に発生したのか, 何らかの原因で基準位置に誤差が生じたものかは断定できない。すなわち, 隣接する2測点で, FdとFc 5とのD. latが等しいから, 基準位置が反対方向に偏っていることも考えられる。基準位置の決定に際し, 誤差の混入が予想される事項について

は前述のごとく充分留意した。従って予想し得る原因としては, 目標とした物標の位置にわずかながらずれがあったか, 船首方向によって船体磁気が100 kHz帯の受信波に何らかの影響をおよぼしたことが考えられる。

2) 隣接する測点間でFdとFc 5の相対偏位に差のあることが多いから, その変化傾向を調べるために数測点を結ぶ線上を航走して, 約10秒間隔で各位置をプロットした。Fig. 55において, 5回目ごとにFc 9を含む3点を結び三角形を描いた。それぞれの位置を結べば航跡となる。

Fdによる航跡は南北針路のとき, オートパイロットで直進中にもかかわらずゆるやかな湾曲をしている。一方, 東西針路のときはほぼ一直線に並んでいる。隣合う位置の間隔は, 南北針路のときはほぼ均一であるのに, 東西針路ではやや不規則になっている。このことから前述のごとく, 赤従局による位置の線が数分の周期で東西に偏移すること, すなわち, その不定誤差が緑従局の位置の線のそれよりも大きいことを示している。

ロランCによる航跡は, Fc 5では針路が南北でも東西でも, ほぼ直線状態を示しているが, 隣接する位置の間隔はFdの場合より不均一で, 短時間の周期で0.01~0.03海里偏位している。Fc 9では, 間隔の変動がより大きくなるが, 南北針路ではFc 5の航跡とほぼ平行状態である。しかし, 東西針路のときは変針の直後数分間は曲線状態がつづき, その

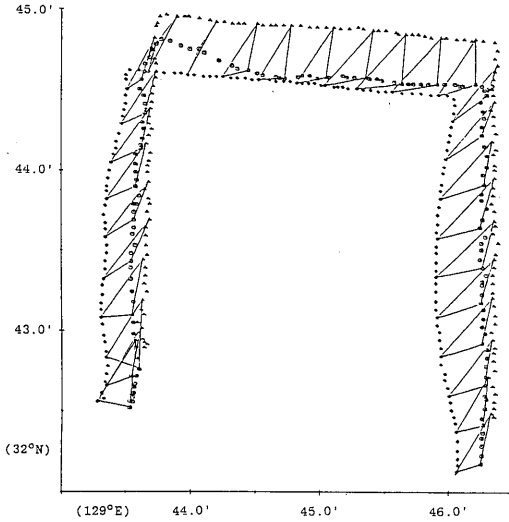


Fig. 55. The relation between three kinds of fixes by Decca (Kitakyushu chain Red-Green pair: solid rhomb), Loran C (5970 chain X-Y rate: solid prearranged examination area, off Nagasaki Harbour (Triangles show simultaneously measured three kinds of fixes).

後直線になる。このことは船首方位によって受信波におよぼす船体磁気の影響が変化するためと考えられる。Fc 5 でも、わずかに同様な傾向がみられるが、送信局からの距離が近いから電波の電界強度が高く、その影響による変動が少ないものと考えられる。

3) 上記の方法と同様にして、速力約2ノットで航走したときの記録が Fig.56 である (Fc 9を除く)。Fd の位置は、測定間隔が約10秒であるからその間の位置の変化がデッカの位置分解能の0.01'に達しないことと、南北方向の位置の線が短い周期で偏移するため、連続する点が東西に並んでプロットされる。従って、見掛け上船首の振揺があるような航跡となる。また、航跡は直線とならず、ゆるやかな曲線となっている。この傾向は速力に関係なく、針路が赤従局の位置の線と平行に近い場合に生ずるから、赤従局信号の不定誤差に起因するものであろう。しかし、他の海域、すなわち赤従局からの距離が異なる海域における測定により再検討する必要があろう。

ロランC位置による航跡はさらに広い幅をもって描かれている。これは、デッカ位置の場合と同様に、位置の変化が位置分解能以下であることと、0.1 μ sec 単位の不定誤差が短い周期であらわれるため

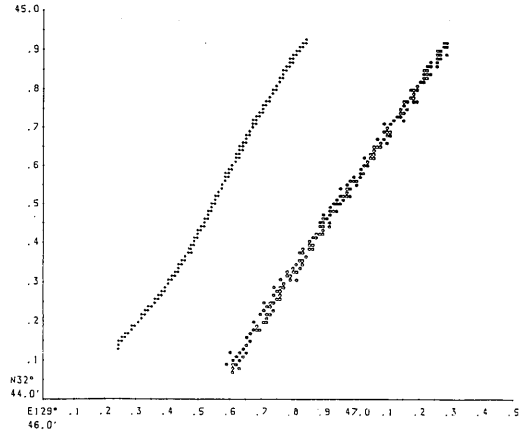


Fig. 56. The wakes of "Kakusui" by Decca (Kitakyushu chain Red-Green pair: solid rhomb) and Loran C (5970 chain X-Y rate: dot) fixes in the prearranged examination area, off Nagasaki Harbour (ship's speed 2 knots, measurement interval 10 sec).

である。

さらに電波の到達時間差1 μ sec 当たりの間隔 (位置の線の幅) が広い場合、時間差値の変動は小さくても偏位量が大きくなり、0.02~0.03海里の変動幅となる。

4) まとめ

デッカシステムとロランCシステムの位置の精度について、本研究の実験海域における評価試験を行なった。デッカ位置 (Fd) とロランC位置 (Fc 5, Fc 9) には、それぞれ定誤差と不定誤差が含まれているが、それらの定誤差は0.1'の単位であるのに対し不定誤差は0.01'の単位である。本海域における平均偏位は、Fd では231°方向へ0.33海里、Fc 5のそれは5°方向へ0.15海里であった。その標準偏差は緯度方向と経度方向に分解するといずれも0.04~0.05海里である。従って平均値をもって補正值とすれば、船位の誤差は約0.05海里 (約90m) 以下におさまる。各位置の不定誤差は位置の線の変動、すなわち電波の位相変化によるもので、送信局からの距離によって左右される。今回の測定では、Fd は赤従局が遠くその位相変化が顕著であるから、位置の線に平行に近い針路のとき航跡が湾曲して描かれる。また Fc でも Y局が遠いため同様な傾向がみられる。

これらの原因による船位のずれは、それを基準位置とする本システムにおいて、水中物体の位置誤差

として直接影響する。従って、南北方向に移動する場合には東西方向に振揺するような航跡となり、東西方向に移動する場合には、速さが小刻みに変動するかのように見える。すなわち、船位センサの不定誤差の範囲内では正確な追跡ができないことになる。その大きさは、 Fd を用いれば $0.01\sim 0.02$ 海里（約 $20\sim 35$ m）、 Fc 5なら $0.01\sim 0.03$ 海里（約 $20\sim 50$ m）程度を見込まねばならない。しかし、長時間にわたる追跡であれば、平均速力や移動方向はほぼ正確に求められよう。

なお、平均偏位を補正するためには、方位と距離を用いるのは不便で、緯度・経度方向に分解すれば、受信機のプロセッサに手動入力できるから容易に補正できる。すなわち、本海域では Fd では緯度 $0.21'$ 経度 $0.30'$ を、 Fc 5では緯度 $-0.15'$ 、経度 $-0.002'$ を補正值として入力すればよい。

第5章 本システムによる 水中物体の位置確認とその精度

第1節 概要

本システムの主要目的は移動する水中物体を調査船で航走しながらその距離を測定し、その位置を確認しつつ追跡することにある。そのためトランスポンダを用いた応答送信方式により3個の距離（ AB 、 AC 、 CB ）を測定し、水中物体の方位は距離情報をもとにして算出する方式である。

水中物体の位置誤差は調査船からの距離と、算出された相対方位の精度によって左右される。3個の距離情報のうち、基準線 AB の長さは曳航索の長さであるから、直進中は一定である。従って、トランスポンダから基準線の両端までの距離 AC と CB によって相対方位が変化する。また AC は調査船から水中物体までの距離であるから、 AC に誤差があれば、方位と距離の両方に誤差を生ずる原因となる。

水中物体の位置を緯度・経度であらわすために、電波航法装置による調査船の位置を基準として算出する方式を用いているから、船位の精度が水中物体の位置の精度に直接影響する。航走中の船の真位置を連続的に正しく測定するには、特殊の装置（電波距離計など）を使用する必要があり、その利用範囲も限定される。そのため、電波航法装置による位置には定誤差と不定誤差が含まれているが、連続測定が可能で利用範囲も広いという利点があるから、誤差量を測定して補正すれば有効な基準位置となる。

本章では(1)トラッキング装置とトランスポンダの両者を固定して3個の距離を実測するとともに、六分儀により A 点と C 点で交角 CAB と ACB を測角し、2角と曳航索の長さ AB により C 点から基準線の両端までの距離（計算距離）を算出した。トランスポンダで得られる実測距離と計算距離の差（相対誤差）を偏差とし、その変動と測距精度およびそれらの距離により決定される位置の精度について検討した（第2節）。

次に調査船を航走させてトランスポンダを(2)固定した場合（第3節2））と(3)移動させた場合（第3節3））についても同様に測定し、その位置の精度について評価した。これらの各測定ではトランスポンダは別の船から垂下して、その深さは A 、 B 両マイクロホンとも、水面下 5 mに保った。

第2節 トラッキング装置による実測距離と実測位置の精度（固定点における実験）

1) 測定方法

測定は長崎県大村湾の時津港内において、前章の実験に用いた調査船鶴水の他に調査船朝霧（5トン）を使用して実施した。鶴水を岸壁に横付けし、船尾から送受信兼用のマイクロホン A を垂下した。曳航索は岸壁に添わせ、受信専用のマイクロホン B は岸壁のビットから垂下し、トランスポンダは朝霧の中央部舷側から垂下した（Fig.57）。

朝霧は基準線 AB のほぼ正横方向へ約 100 m間隔で移動して錨泊した。当日は微風でさざ波ができる程度であったが、弱いながらも潮流があり、錨索が弛張して朝霧がわずかに移動していたので、トランスポンダによる合図で同時測定を行ない。測定時刻のずれによる誤差が生じないように留意した。トラッキング・ユニットの測定間隔は 5 秒に設定したが、マイクロコンピュータの処理時間とプリンタおよびプロッタの作動時間による遅れがあるので、プリンタの記録間隔は約 10 秒となったから、測角時刻に最も近い記録をもって実測距離とした。従って、最大 5 秒の時間差を生ずるが、その前後の測距値がほぼ等しいことを確認して採用した。

朝霧を基準線から $100\sim 750$ mの間を移動させて、錨泊地点ごとに $5\sim 10$ 回測角したが、トラッキング・ユニットの誤動作によるデータや異常値を除き 86 個の測定結果を得た。トラッキング・ユニットによる実測距離から、Fig.58の A 点からみた水中物体の方位と基準線の方位の差（ $\angle Ac$ ）を算出し、距離 AC と $\angle Ac$ により実測位置 C （ A 点からの相対位置）

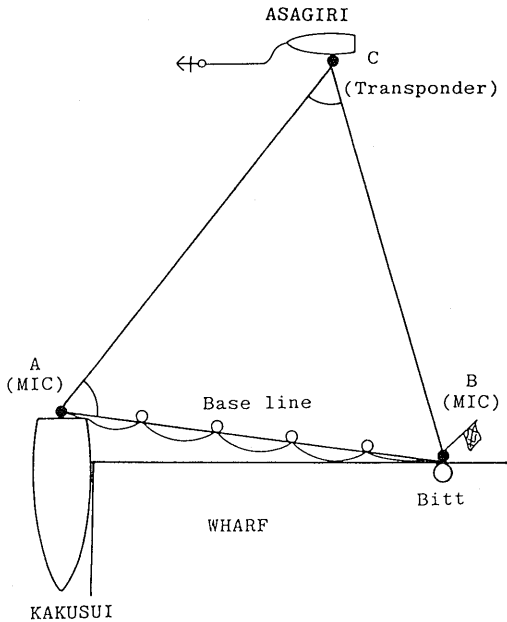


Fig. 57. The arrangement of two microphones (A, B) and the transponder (C) on the examination under the condition of the system was fixed.

を決定した。また基準線の長さと同測角値 ($\angle A_o$, $\angle C_o$) から正弦法則により計算距離 (L_1 , L_2) を求め、 $\angle A_o$ と L_1 から計算位置 F を決定した。さらに F と C の間の距離 XY を基準線に平行な方向 (X 軸方向) の成分 ΔX と、それに直角方向 (Y 軸方向) の成分 ΔY とに分解した。

2) 実測距離の偏差

基準線 AB の両端から水中物体 C までの距離 AC と CB について、それぞれの偏差を m 単位で求めてプロットしたものが Fig. 59 である。また個々の偏差をそれぞれの実測距離に対する比率 (%) に換算してプロットしたものが Fig. 60 である。各偏差を実測距離によって 100 m ごとに区分して、それぞれの平均値と標準偏差を求め、さらにそれらを実測距離 (AC , CB) に対する比 (%) であらわしたものを併せて Table 18 に示した。各距離区分のデータ数が AC と CB で異なるのは、100 m 間隔で区分したから AC と CB の値が別の区分に入ることもあるからである。 AC の 500 ~ 600 m と CB の 400 ~ 700 m の範囲ではデータ数は少ないが、参考までに表示した。Fig. 59, 60 には各区分の平均値を実線で、全平均値を点線で記入した。

Table 18 に示したように、偏差の全平均値はそれぞれ 1.2 m と 0.1 m であるが、各区分の平均値は AC

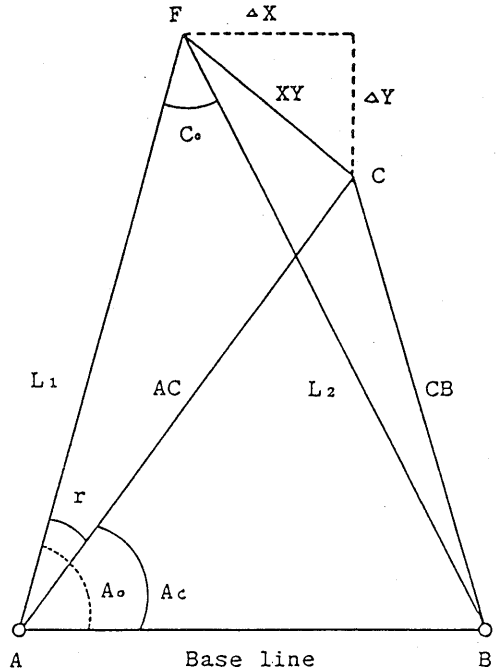


Fig. 58. The relation between a measured fix (C) and a calculated fix (F). (AC , CB : measured distance; L_1 , L_2 : calculated distance; A_o , C_o : measured angle; AC : calculated angle; r : difference of A_o and C_o ; XY : difference of two fixes [C and F]).

では正、 CB では負の値となるものが多い。しかし、それらの絶対値は 500 m までは 2 m 以下にすぎず、それ以上でも約 5 m 以下である。それらの実測距離に対する比率は、データ数の少ない区分のものを除けばすべて 1% 以下である。偏差のばらつきは全般的に小さくて、 AC と CB の間にはほとんど差がなく、それらの標準偏差はそれぞれ 4.62 m (1.38%) と 4.74 m (1.40%) である。距離区分別では、データが 10 個以下の区分を除くと 2.6 ~ 5.4 m の範囲内にあり、200 m 以上では距離が増大しても偏差の変動幅はあまり変化しない。その実測距離に対する比率は距離の増大に伴って減少し、600 m 以上では 200 ~ 300 m の 1/2 程度となり、距離の変化に関係なく偏差の幅はほぼ一定している。黒木ら (1971) の装置では、50 ~ 200 m の範囲で -5 ~ +6% であったのと比較して、それと同等あるいはそれ以上の精度のものと言うことができよう。

実測距離に誤差が含まれていることの原因としては、使用した超音波の伝搬速度 (1,500 m/sec) が測定水域におけるそれと一致しないこと、海底や岸

Table 18. Mean values and standard deviations (S. D.) of differences between measured distances and calculated ones.

Distance (m)	A C					C B				
	No. of Data	Mean		S. D.		No. of Data	Mean		S. D.	
		meter	%	meter	%		meter	%		
100~200	16	0.1	0.2	2.58	1.90	16	-0.3	-0.3	2.55	1.48
200~300	23	0.5	0.1	4.04	1.60	28	-0.9	-0.4	4.21	1.70
300~400	14	-1.1	-0.3	3.57	1.06	14	-1.8	-0.5	4.21	1.19
400~500	11	1.3	0.3	4.82	1.12	6	-1.0	-0.2	1.08	0.24
500~600	3	6.6	1.1	8.37	1.46	7	2.9	0.6	8.00	1.56
600~700	9	3.8	0.6	5.38	0.86	5	-0.0	-0.0	3.64	0.58
700~800	10	3.8	0.5	5.43	0.72	10	5.5	0.8	4.93	0.70
Total	86	1.2	0.2	4.62	1.38	86	0.1	-0.1	4.74	1.40

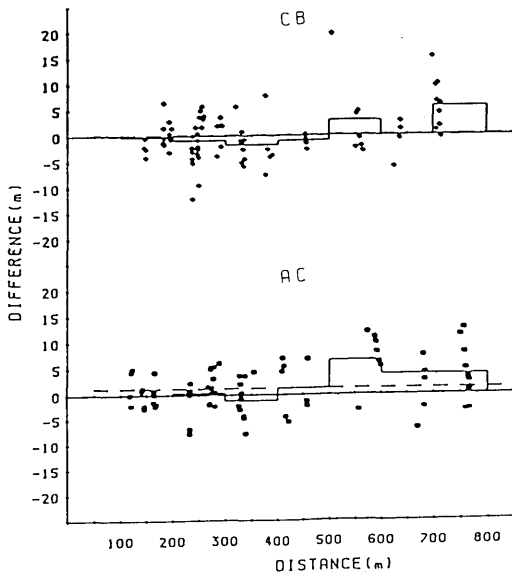


Fig. 59. Differences between measured distances and calculated ones shown in meter (solid lines: mean values at intervals 100 m; dotted lines: mean value of the total).

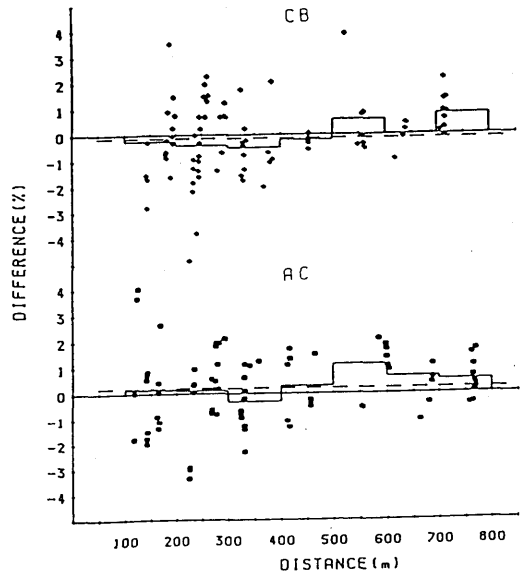


Fig. 60. Differences between measured distances and calculated ones shown in percentage (solid lines: mean values at intervals 100 m; dotted lines: mean value of the total).

壁からの反射波や生物による雑音の混入により相関信号に誤差を生ずること、応答信号の遅延時間の变化などのほか、測角値に誤差があり計算距離にも誤差が含まれていることなどが考えられる。

3) 実測位置の偏位

計算位置Fと実測位置C間の距離 (Fig. 58 [FC = XY]) はFが真位置であればCのみの誤差であるが、Fにもわずかながら測角上の誤差が含まれるので、FCを実測位置の偏位と呼ぶ、距離XYはA点からF点までの距離L₁とACおよび∠Aoと∠Ac

の差(r)によって決まる。∠Acは3個の実測距離によって定まり、基準線ABは一定であるから、rはACとCBの偏差(Δa, Δb)の大きさとそれらの符号によって変化する。すなわち偏位の方向はΔaとΔbが同符号で等しければY軸方向に、両者の差が大きければX軸方向となり、その距離XYは

$$XY = \sqrt{(AC \sin r)^2 + (L_1 - AC \cos r)^2}$$

となる。これをF点を原点として基準線に平行な方向(X軸)の成分ΔX、それと直角な方向(Y軸)の成分ΔYに分解してプロットしたものがFig.61で

ある。また、実測距離の偏差の場合と同様に 100 m 間隔で区分して r , ΔX , ΔY および XY の平均値と標準偏差を求めた結果が Table 19 である。

Fig.61 において、原点からの平均偏位量は X 軸方向へ 4.6 m, Y 軸方向へ -0.1 m にすぎないが X 軸方向のばらつきが大きく、標準偏差は X 軸方向 23.98 m, Y 軸方向 11.05 m である。図中の楕円は平均位置を中心とし、 ΔX と ΔY (Fig.58) の標準偏差を長短半径として描いたもので、内側は 1σ , 外側は 2σ の誤差楕円である。Table 19 の各距離区分における ΔX と ΔY の標準偏差により、 1σ の誤差楕円を描いたものが Fig.62 である。AC が 500 ~ 800 m のデータ数は 100 m ごとに区分すると 10 個以下になるので、500 m 以上のものは一括して示した。各区分とも楕円の短径と長径の比は $\frac{1}{2}$ 以下の扁平な形状

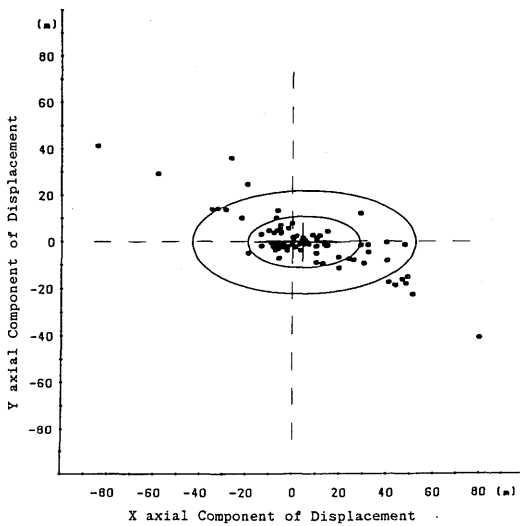


Fig. 61. The amount of scatter of the measured fixes. Two ellipses are ones with 1σ and 2σ error.

となっている。角度差 r は各区分とも平均値は 1° 前後であるが、標準偏差は $3 \sim 3.6^\circ$ で、X 軸方向のばらつきに影響することを示している。XY は距離 500 m 以上でも 34 ± 27 m にすぎず、平均では 19 ± 19 m 以下である。

4) 実測位置の精度

実測距離の精度が、実測位置の精度におよぼす影響について考察した。Fig.63 において基準線 AB の長さは一定で A, B の 2 点は定点である。2 定点からの距離 AC, CB を半径とする円周 (距離圏) の交点が実測位置 C で、AC と CB のなす角を θ とす

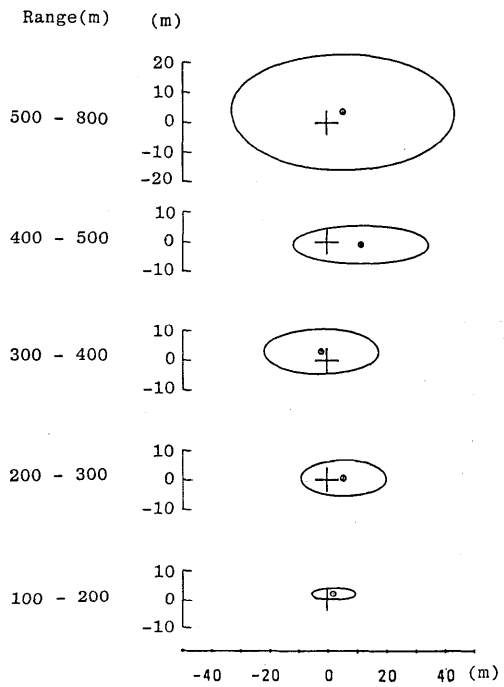


Fig. 62. 1σ error ellipses with 100 m section each from 200 m to 500 m and more than 500 m (cross: calculated fix; dot: mean fix).

Table 19. Mean values and standard deviations (S. D.) of differences angles (r°) and differences of fixes (X-axisial, Y-axisial components and distance).

Distance (m)	No. of Data	r		Difference					
		angle ($^\circ$) mean	S. D.	X-axis mean (m)	S. D.	Y-axis mean (m)	S. D.	dist. mean (m)	S. D.
100~200	16	0.9	2.95	2.1	7.63	-0.2	2.23	6.6	4.67
200~300	23	1.3	3.29	5.7	14.74	-1.4	6.04	13.2	10.37
300~400	14	-0.4	3.61	-1.9	19.82	1.1	7.62	16.6	12.68
400~500	11	1.6	3.11	11.7	23.38	-2.8	6.51	19.5	18.14
500~800	22	0.5	3.57	5.7	38.64	1.8	19.65	33.7	26.93
Total	86	0.8	3.32	4.6	23.98	-0.1	11.05	18.6	19.21

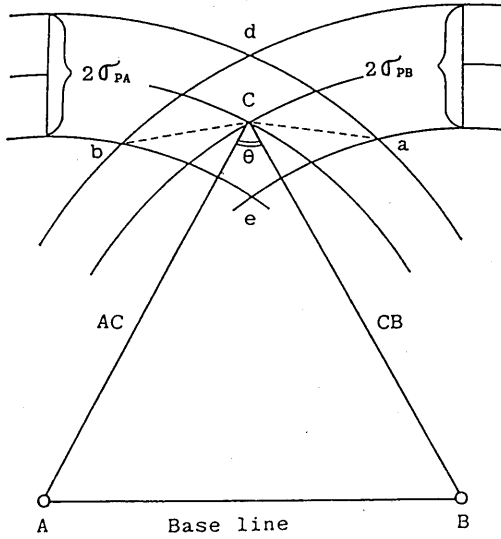


Fig. 63. The relation between the maximum error of fix (C a) and error quadrilateral formed by the errors of measured distances ($2\sigma_{PA}$, $2\sigma_{PB}$), and intersection angle (θ).

る。ACとCBに含まれる偏差の実測距離に対する比率を求め、それぞれの標準偏差を σ_{PA} 、 σ_{PB} とすれば、 $AC \pm AC \times \sigma_{PA}$ の距離圏daとbeおよび $CB \pm CB \times \sigma_{PB}$ の距離圏dbとaeはほぼ直線とみなすことができるから、これらの各辺は平行四辺形を形成し、これが位置Cの68%誤差四辺形である。この四辺形の各辺は

$$db \cong ae \cong 2\sigma_{PB} \cdot AC \cdot \operatorname{cosec} \theta \quad (1)$$

$$da \cong be \cong 2\sigma_{PA} \cdot CB \cdot \operatorname{cosec} \theta \quad (2)$$

であり、Cの位置誤差の最大値は大きい方の対角線の1/2である。交角 θ が 90° 以下の場合には対角線 $ab >$ 対角線 de であるから、最大誤差は $1/2 ab \cong Ca = Cb$ となる。平行四辺形aebdの交角($\angle dae$)は θ と等しいから対角線abは

$$ab = \sqrt{db^2 + be^2 + 2db \cdot be \cdot \cos \theta} \quad (3)$$

である。ここでAC、CBは同一装置で測定されたものであるから σ_{PA} と σ_{PB} は等しく、これを σ_P として(3)式に(1)、(2)式を代入すれば最大誤差Caは

$$Ca = ab/2 \\ = \sigma_P \cdot \operatorname{cosec} \theta \sqrt{AC^2 + CB^2 + 2AC \cdot CB \cos \theta} \quad (4)$$

である。また、誤差四辺形の面積Sは

$$S = 4\sigma_P^2 \cdot AC \cdot CB \cdot \operatorname{cosec} \theta \quad (5)$$

となる。位置の精度は誤差四辺形の面積が大きいくほど低くなるから、精度は面積の逆数であらわされる。

すなわち(5)式で $k = 1/4\sigma_P^2$ とすれば、精度 $1/S$ は

$$1/S = k \sin \theta / AC \cdot CB \quad (6)$$

である。

上述のごとく、実測位置の最大誤差や精度は、各偏差と θ によって変化する。そこで、 $AB = 100$ mとして、ACを200 mから800 mまで100 mごとに変化させ、CBを $(AC - 90)$ mから $(AC + 90)$ mまで10 mごとにかえ、 σ_P を1%にした場合の交角 θ 、最大誤差Caおよび精度 $1/S$ を計算してFig.64, 65, 66に示した。

Fig.64において、 θ の曲線の最大値が右側に片寄っているのは、ACの値を固定してCBのみを変化させたためである。AC=400 mまでは曲率半径が小さく、ACとCBの距離差が増大するにつれて θ の減少が著しくなるが、500 m以上では 10° 以下になり変化が少なくなる。

最大誤差Caは $\operatorname{cosec} \theta$ に比例するからFig.65のごとくU字型の曲線となり、ACとCBの距離差が大きくなると急激に増大し、 θ が大きいくほど、すなわち距離が近いほど誤差量が一定している。AC=400 m以下で、ほぼ一定の誤差を示す範囲では、その値は距離(AC)の10%以下である。

精度 $1/S$ は(6)式のごとく $\sin \theta$ に比例し2距離の積に反比例するから、距離の増大とともに低下する。しかし近距離ではACとCBの変化による θ の変化が著しいので、Fig.66にみられるようにAC=200 mではCB=130 mのときその精度は最も高く、CBの増大とともに直線的に減少する。ACが400 m以上になると、CBとの距離差が変化しても精度はあまり変化しないが、AC=200 mの場合の約1/10以下になる。

実測距離の偏差はTable 18で示したように、AC、CBとも全体の標準偏差は1.4%であるから、Fig. 65(標準偏差は1%として計算している)の曲線の示す値を1.4倍すれば最大誤差が推定できる。すなわち各曲線の水平部分(ABとACの差が小さい部分)における値を読み取り1.4倍すればAC=200 mで約13m、400 mで約45m、600 mで約100 mである。実測による最大誤差として、Table 19に示した偏位距離XYの標準偏差の3倍(95%)の値を用いれば、200mで約14m、400mで約38mとなり、この範囲内では推定値とほぼ一致する。しかし実測値は600mで55m、800mでも81mにすぎず、遠くなるに従って推定値との差が大きくなる。

水中物体までの距離とその偏位はかならずしも比

例しないから、100~200mの範囲に区分して、それぞれの標準偏差を算出すべきである。精度向上のためには θ が 10° 以下にならないように、すなわち水中物体までの距離が基準線の2~4倍程度の範囲内で測定することが望ましい。また2定点A, Bから

の距離差が基準線の1/2以下になるように、すなわち水中物体の位置が基準線の垂直二等分線上附近から、船位のほぼ正横附近の範囲内にプロットされるように操船しながら追跡し、 θ が小さくならないようにすべきである。

特に距離が遠くなるほどこの点に留意する必要がある。

第3節 航走中の実測距離と実測位置の精度

航走中における水中物体までの距離と、その位置の精度について評価するための実験を行なった。電波航法装置による位置を正しいものとして、調査船からの相対位置を本システムにより実測し、同時に六分儀による測角値から計算位置を求めて、両者の位置を比較検討した。トランスポンダは別の船(長さ6mの機動艇)から垂下し、同船を錨泊させて固定し調査船だけを移動させた場合と、両船をほぼ並航させた場合について測定を行なった。

1) 測定方法

前節の測定と同様に、本システムにより3個の距離を測定するとともに、約0.5~1分間隔で2交角を測定した(Fig. 67, 68, 69)。移動中の測定であるから、測定時刻のずれによる誤差を生じないように、トランシーバで合図をして同時測定したが、本システムによる距離測定の時間間隔は約10秒だから、±5秒のずれを生ずることがある。操船はオートパイロットで針路を保持し、機関の微速前進と停止を繰

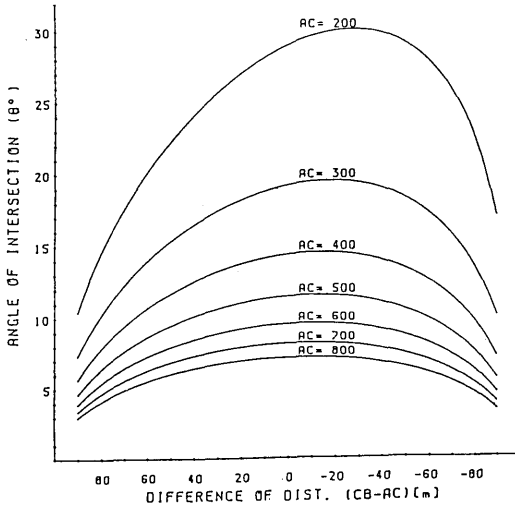


Fig. 64. The relation between the change of distances (AC and CB) and intersection angle (θ), (AC: from 200 m to 800 m, interval 100 m; CB: from AC+90 m to AC-90 m, interval 10 m).

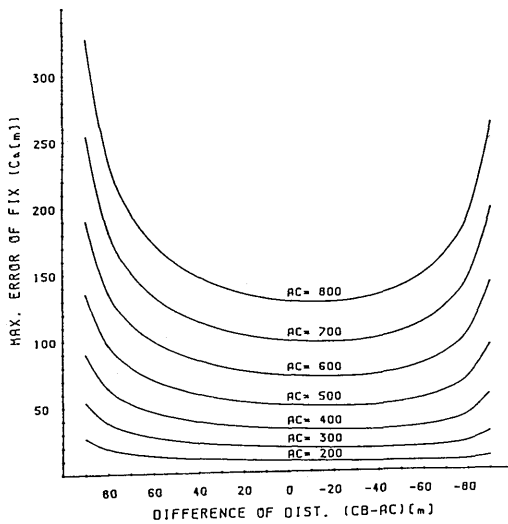


Fig. 65. The relation between the change of distances (AC and CB) and maximum error of fix (C_a), used values of standard deviation are 1% for both AC and CB (AC: from 200 m to 800 m, interval 100 m; CB: from AC+100 m to AC-90 m, interval 10 m).

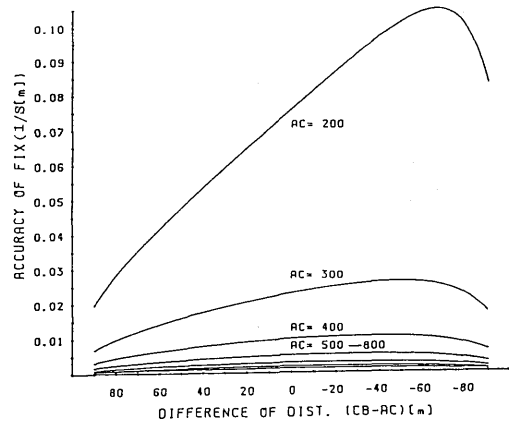


Fig. 66. The relation between the change of distances (AC and CB) and accuracy of fix ($1/S$), used values of standard deviation are 1% for both AC and CB (AC: from 200 m to 800 m, interval 100 m; CB: from AC+90 m to AC-90 m, interval 10 m).

返して速力を1~2ノット（電磁ログの指度）に保つようにしたので、秒速1m以下で直進した。

当日の風速は2~3m/secで、船首方向の振揺は1~2°にすぎなかったため、基準線の方向は設定針路と一致するものとみなした。Fig.70のごとく基



Fig. 67. "Kakusui" under measurement and the boat pending the transponder.



Fig. 68. Measurement of horizontal angle on the boat.



Fig. 69. Measurement of horizontal angle on "Kakusui".

準線の長さは、曳航索の係止点PからBまでの長さ100mに、P点からアンテナ設置点Sまでの長さ11mを加えたもので、これは実測距離111mと一致していた。基準線ABの方向はジャイロコース（SPの方向）との間に δ の角度差がある。鶴水の船幅は4mであるから

$$\delta = \tan^{-1}(2/111) = 1.08^\circ$$

になるので、基準線の方向はジャイロコースに1°プラスしたものをを用いた。

2) 固定トランスポンダの測定実験

1) 標的となるボートを双錨泊により固定し、その周囲を約250~650m離して航走しながら測定した。本システムによるトランスポンダ位置(T_D , ⊙印)のうち、同時に六分儀による測角が行なわれたときの T_D と、それに対応する基準位置（デッカシステムによる船位： S_D , ◆印）をプロットしてFig.71に示した。

測角の間隔は0.5~1分で、船速は約1ノットであったから、その間隔に対応する船位の間隔はほぼ15~30mである。従って船位のマークはほぼ等間隔にならぶが、システムの誤動作により三角形が形成されなくて測定不能のときは間隔が広がる。また、デッカシステムに不定誤差があるために、2~3回の測定が行なわれる間も船位の指示値が変化しなかったり、急に変化するときも間隔に広狭を生ずる。なお、Fig.71では、測角によるトランスポンダ位置(T_S)は T_D との距離(T_D の偏位)が数m~数十mのものが多く、⊙印と重複するので省略した。

T_D はそれを垂下したボートを固定しているからほぼ一点に集中する筈であるが、北側に離れて散在す

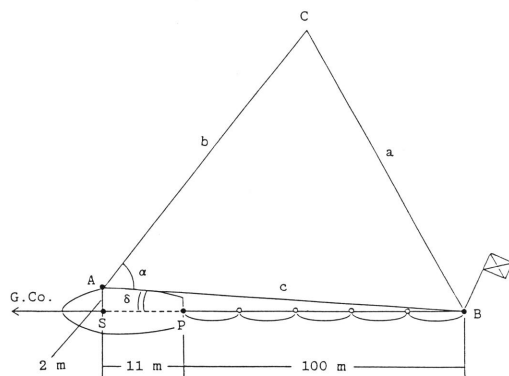


Fig. 70. The relation among the bearing of base line (AB), ship's head (G. co) and the bearing of the transponder (G. CO + δ + α).

る数個を除いても、東西約180m、南北約130mの範囲に散在している。北側に離れた各点は、A CとC Bの偏差の両方または一方が10m以上のものである。

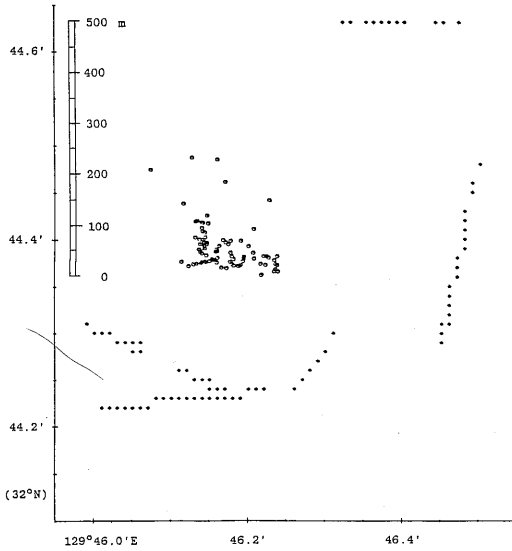


Fig. 71. Measured fixes (open dots) of the transponder pending from anchored boat, and Decca fixes of "Kakusui" (solid rhomb) under sail.

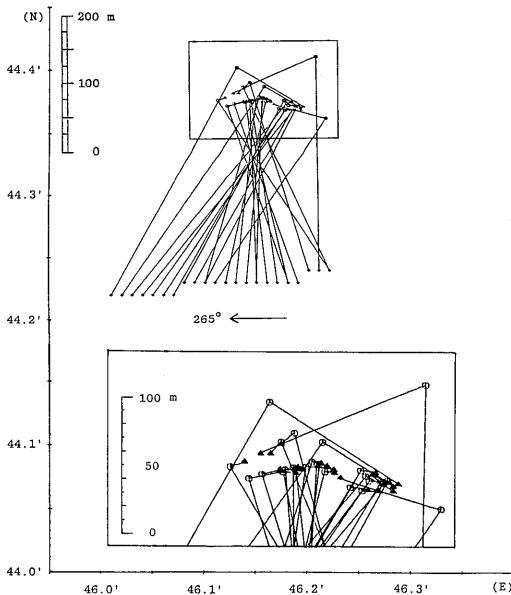


Fig. 72. The relation between measured fixes (open dots: T_D) and calculated fixes (solid triangles: T_S) of the transponder pending from anchored boat, and Decca fixes of "Kakusui" (solid rhomb: S_D) under sailing on gyrocompass course 265.

2) T_D のばらつきの原因について考察するために、船首方向により(1)針路265°, (2)針路90°と190°, (3)針路230°と290°に分けてプロットしたものが Fig.72, 73, 74である。これらの各図はスケールを Fig.71の1.5倍に拡大し、船位 (S_D) と本システムによるトランスポンダの位置 (T_D , ⊙印) を結び、さらに T_D と測角による位置 (T_S , ▲印) を結んで対応させた。各図とも T_D と T_S が接近しているの、その部分を拡大した図も示した。ボートは双錨泊で固定しており、その長さは6mであるから、微風による振れまわりは、ほぼ10m以下と考えられる。

次に各針路別の測定における特徴について述べる。

(1) 針路265° (Fig.72) では、 T_D と T_S を結んだ線の長さ、すなわち T_D の偏位が50m以上のものが4点あり、他はほとんどが20m以下である。偏位を生ずる原因は、前節の場合と同様に本システムの測距誤差 (T_D の誤差) と六分儀による測角誤差 (T_S の誤差) が考えられるが、測角誤差は通常 1~2' であり、測定距離が600m以下ならば、それによる位置誤差は無視できる程度 ($600m \times \sin 2' = 0.33m$) である。また S_D の定誤差は T_D と T_S に同量の誤差が加わることになるから、対応する T_D と T_S の間ではキャンセルされる。従って T_D の偏位の主因は本システムの測距誤差といえる。

Fig.72において S_D が西へ約320m移動する間に T_S が東へ約120m移り、偏位が小さい場合の T_D も同様な傾向を示している。すなわち S_D と T_D を結んだ線 (方位線と略す) が両者の中間より T_D 寄りの付近で交叉している。その原因としては、上述のごとく目標としたボートは錨泊し、その振れまわる範囲はせまいからデッカ位置の定誤差の変化、すなわち航跡の東側と西側とで定誤差のうち特に経度方向の成分 (D. Long) が異なることによるものと考えられる。なお、同一船位から方位線が2本出ているのは船位の緯度方向の不定誤差 (第4章第5節参照) によるものである。

(2) 針路90° (Fig.73) では距離が600~700mであったから、受信信号の相関不良や受信不能により測定できない場合があり S_D の間隔の広くなることがある。また距離誤差による偏位も大きくなるので、50m以上の偏位のもものが12点中半数近くにおよび、方位線の並び方が不規則である。この針路で測定した範囲は約250mではあるが、 T_S のばらつきは少なく(1)のような傾向はみられない。

針路190° (Fig.73) では距離が500~600mである

が、偏位は 100 m 以上の 3 点のほかは 50 m 以下である。T_s は針路とほぼ平行な方向に約 50 m の範囲のばらつきはみられるが(1)の場合よりかなり狭く、その偏位の方向に規則性がない。従って、前述のボートの振れまわりか、船位の設定誤差の変化によるものか或いは基準線方向と船首方位の不一致によるものかの判別は困難である。

(3) 針路 230° (Fig.74) では測点は少ないが、偏位は約 150 m の 1 点を除けば、他は 25 m 以下で数 m のものが多い。T_s のばらつきも約 25 m の範囲で、測角の誤差とボートの振れまわりにより偏位したものと考えられる。

針路 290° (Fig.74) では偏位はほとんど 30 m 以下で過半数が数 m である。(1)の場合と同様に船位が約 320 m 移動する間に T_s と T_D がともに東側へ約 130 m 偏位している。方位線の交叉も(1)の場合と類似し

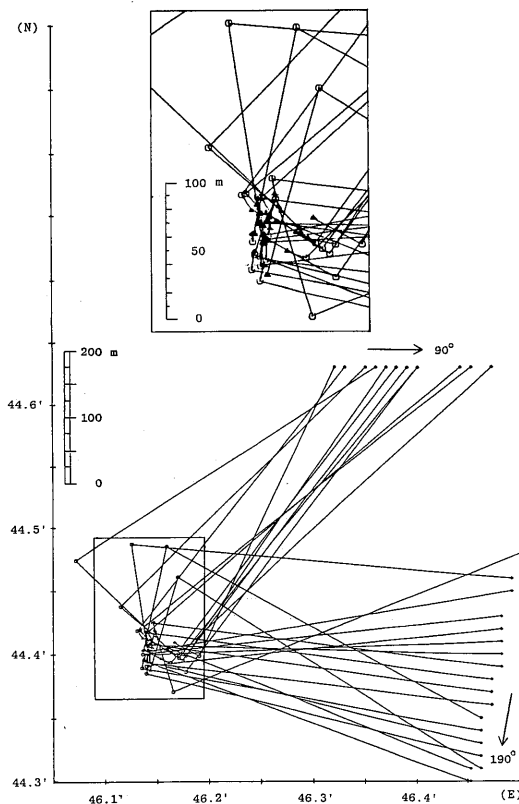


Fig. 73. The relation between measured fixes (open dots: T_D) and calculated fixes (solid triangles: T_S) of the transponder pending from anchored boat, and Decca fixes of "Kakusui" (solid rhomb: S_D) under sailing on gyrocompass courses 90° and 190°.

ており、船位の設定誤差の変化が主因であると考えられる。

S_D が階段状に並んでいるのはデッカ位置の不定誤差があることと、その位置の分解能が 0.01' 単位であるから、船位の微小変化を正しく表示できないためである。また、対応する T_s と T_D が南北方向に偏位することと、同一点から 2~3 本の方位線が出ることの原因ともなっている。

3) 全体の T_D の偏位をまとめて図示したものが Fig.75 である。この図は T_s を原点として、横軸は東西方向、縦軸は南北方向をあらわし、スケールは前項各図の 2 倍である。偏位 100 m 以上のものが 6 個、50~100 m のものが 6 個あるが、全体の 85% は 50 m 以下で、大部分が半径 25 m の円内におさまっている。原点とした T_s にも測角の誤差が含まれているが、前述のごとくその影響は小さいから、上記の値はトラッキング装置の誤差によるものと云える。偏位が 50 m 以上になったことの原因としては、300 m 前後の距離でも生ずることがあるから、トラッキング・ユニットの各信号パタンの判別ができなかったことが考えられる。しかし遠距離の方がその出現数が多いことは、信号強度が低下すると雑音の影響

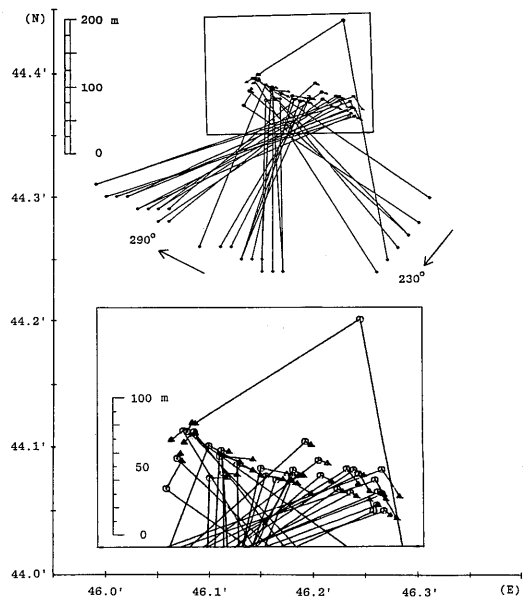


Fig. 74. The relation between measured fixes (open dots: T_D) and calculated fixes (solid triangles: T_S) of the transponder pending from anchored boat, and Decca fixes of "Kakusui" (solid rhomb: S_D) under sailing on gyrocompass courses 230° and 290°.

が大きくなり、信号判別回路の誤動作につながるものと考えられる。

実際の追跡では、これに船位の不定誤差が加わるが、船位センサの定誤差を修正できれば、ほぼ半径40mの誤差範囲を見込めばよい。さらに、水中物体の微細な行動を解析するためには、船位センサの不定誤差を除去する必要がある(後述、本節5))。

3) 移動するトランスポンダの測定実験

鶴水を自動操舵により直進させるとともに、トランスポンダを垂下したボートをほぼ同方向へ航走させ、200~800mの範囲で両船間の距離を徐々に変化させながら、前項と同様にして測定した。前節の固定点における測定と同様に (Fig.57参照), 実測距離の偏差 (Δa , Δb) を Fig.76 に示す。また、

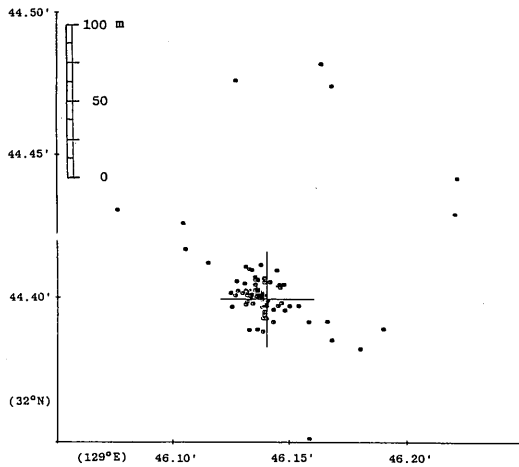


Fig. 75. The scattering of measured fixes (T_D) of the transponder pending from anchored boat (cross: calculated fix by horizontal sextant angles).

各偏差をそれぞれの実測距離に対する比率(%)にして示したものがFig.77である。測定回数は198でこれを実測距離100mごとに区分して、その平均値を実線で、全体の平均値を点線で示した。さらに各区分の Δa と Δb の平均値と標準偏差をm単位と距離に対する比率(%)で示したものがTable 20である。

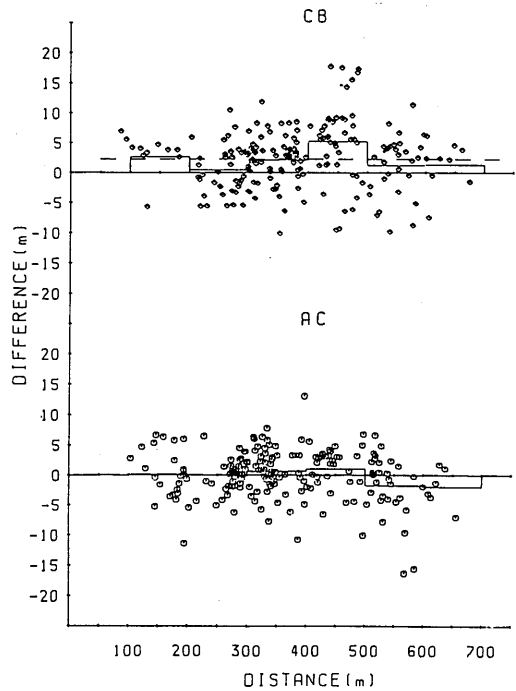


Fig. 76. Differences between measured distances and calculated ones shown in meter (solid lines: mean values at intervals 100 m; dotted lines: mean value of the total), under the tracking of the moving transponder.

Table 20. Mean values and standard deviations (S. D.) of differences between measured distances and calculated ones, under the tracking of the moving transponder.

Distance	AC					CB				
	No. of Data	Mean		S. D.		No. of Data	Mean		S. D.	
		meter	%	meter	%		meter	%	meter	%
100~200	24	0.2	0.3	4.38	2.70	10	2.7	1.9	3.19	2.49
200~300	41	0.0	-0.0	2.92	1.17	42	0.4	0.1	3.99	1.54
300~400	59	0.7	0.2	4.15	1.18	62	2.1	0.6	3.97	1.16
400~500	36	1.1	0.3	3.62	0.79	44	5.2	1.2	6.72	1.46
500~600	32	-1.8	-0.3	5.17	0.93	30	1.2	0.2	5.09	0.92
600~700	6	-2.0	-0.3	3.25	0.50	10	1.3	0.2	4.05	0.66
Total	198	0.1	0.1	4.11	1.35	198	2.3	0.6	5.08	1.41

1) 各距離区分の偏差(m)の平均値はいずれもCBの方がやや大きい、400~500mで5mのほかはいずれも3m以下である。標準偏差も100~200mの区分ではACの方が大きい、他の区分ではほぼ同じかあるいはCBの方が約1m大きいものの、すべて3~7mの範囲である。全体ではAC=1.25%(4.1m)、CB=1.41%(5.1m)であるが、100~200mの区分で最も大きくてAC=2.7%(4.4m)、CB=2.5%(3.2m)であるのに対し、それ以遠では1%台となり、500~600mではAC、CBとも0.9%(約5m)である。すなわち、偏差の大きさは距離が遠くなってもあまり変化しないものと云える。これらの値は前節(Table 18)の結果と比べて、全体の比率はほとんど差がない。距離別に区分した結果では、ACの100~200mでは標準偏差が0.7%(1.8m)、CBのそれは1%(0.6m)増加している。この区分とデータ数の少ない区分を除けば、他はいずれも固定点における測定よりやや小さくなっている。このことは移動中の方が10m以上の誤動作や雑音の影響による相関信号の誤差が少なかった

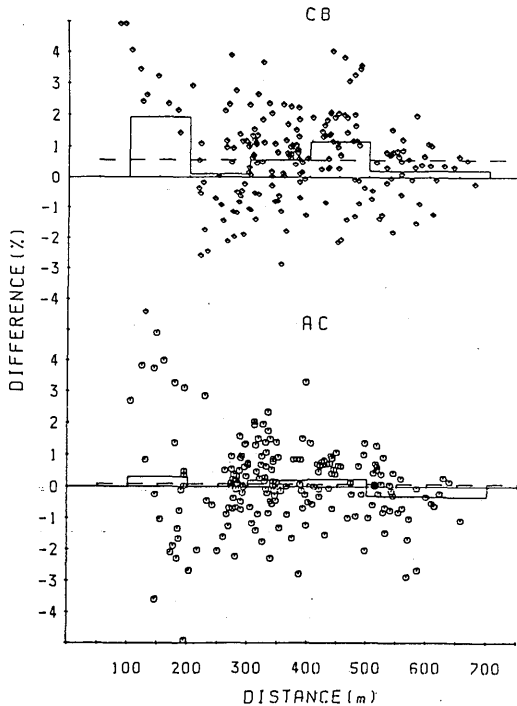


Fig. 77. Differences between measured distances and calculated ones shown in percentage (solid lines: mean values at intervals 100 m; dotted lines: mean value of the total), under the tracking of the moving transponder.

ものと考えられる。

2) 実測位置と計算位置との相対誤差について、前節(Fig.57参照)と同様に計算位置Fを原点として、実測位置CをプロットしたものがFig.78である。また、偏位を実測距離によって100m間隔で区分し、A点における計算角度と実測角度の差 r 、偏位距離XY、X軸方向の偏位 ΔX およびY軸方向の偏位 ΔY について平均値と標準偏差をまとめたものがTable 21である。さらに各区分の ΔX と ΔY の標準偏差を長、短半径として1 σ 誤差楕円を描いたものがFig.79である。なお600~700mの区分は測定数が少ないので省略した。

Fig.78において ΔX と ΔY の標準偏差を長、短半径として1 σ (内側)と2 σ (外側)の誤差楕円を描いた。固定点の場合と同様にX軸方向のばらつきの方が大きく、長、短半径の比率も類似している。しかし、絶対値はほぼ2/3に減少している。固定点ではデータ数が少なく、今回の移動実験の約2/5であり、その比率も各距離区分でまちまちであるから、各区分の値をそれぞれそのまま比較することはできない。しかし、Fig.79にみられるように、500mまでは固定点実験とほぼ類似した傾向がみられる。500m以遠では移動実験の楕円は400~500mのそれよりも小さいのに、固定点実験では著しく大きくなっている。このことは、ACとCBの偏差のばらつきが大きいことのほか、それらの符号が同じ場合が多くなったためである。移動実験でも500m以遠では偏差が等符号になることが多いもののその絶対値はほとんど変化しないから、楕円の面積は300~500mの範囲とほぼ同じで、偏平率が小さくなるのみである。

実測距離の偏差によって相対方位も変化するが、その標準偏差は2.2°で、距離別区分でも2~3°の範囲で、実測距離の大小とはほとんど関係ない。距離XYは、相対方位の差角 r と実測距離によって変化するから、偏差(%)が最大の100~200mの区分における偏位XYは 6.3 ± 3.4 mにすぎない。400~500mでは、ACの標準偏差は3.6 m (0.8%)ながらCBのそれが6.7 m (1.5%)のため r の標準偏差が2.9°となり、XYが最大で 19.8 ± 17.1 mである。

以上の結果より、偏位量としては約37m以内で、平均値は約27mである。

4) トランスポンダの追跡例

追跡中の調査船とトランスポンダの相対的な位置

の変化について、前項の測定結果を用いてプロットした。基準位置としてデッキ位置を用いた場合とロランC位置を用いた場合の追跡例を示す。なお、それぞれの船位の不定誤差の修正を試みたので、その結果についても述べる。

1) デッキ位置 (S_D : ◆印) を基準位置として S_D と本システムによる位置 (T_D : ⊙印) を結んで方位線とし、さらに T_D と六分儀の測角値による位置 (T_S : △印) を結んで偏位量を示した。

(1) Fig.80は針路180°で追跡したもので、鶴水とボートはほぼ平行して航走したが、ボートは途中で

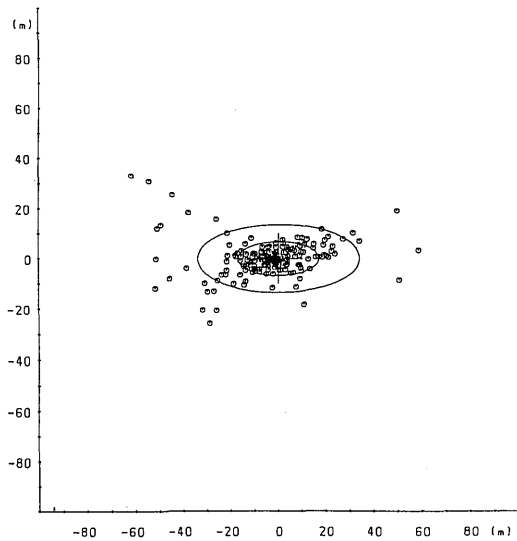


Fig. 78. The amount of scatter of measured fixes.

Two ellipses are ones with 1σ and 2σ error, under the tracking of the moving transponder.

わずかづつ左右に変針させた。両船間の距離はおおむね 300 m 以下で、当日は微風状態であった。偏位はいずれも小さく数mで、 T_D と T_S がほとんど重なりあっている。鶴水は約 1 ノットの速力で、自動操舵によりほぼ直進させたが、デッキ位置の不定誤差が主として経度方向に現われるので、 S_D の航跡はジ

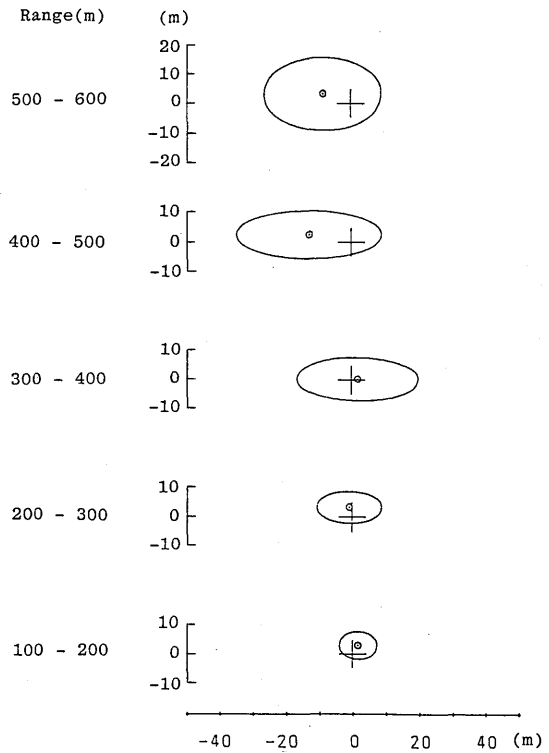


Fig. 79. 1σ error ellipses with 100 m section each from 100 m to 600 m, under the tracking of the moving transponder (cross: calculated fix; dot: mean fix).

Table 21. Mean values and standard deviations (S. D.) of differences angles (r) and differences of fixes (X-axis Y-axis components and distance), under the tracking of the moving transponder.

Range of AC (m)	No. of data	r		Difference					
		angle (o)		X-axis (m)		Y-axis (m)		dist. (m)	
		mean	S. D.	mean	S. D.	mean	S. D.	mean	S. D.
100~200	24	0.1	1.94	1.6	5.72	-0.4	4.13	6.3	3.36
200~300	41	-0.2	2.49	-0.9	9.87	-0.6	4.66	7.9	7.47
300~400	59	0.4	3.09	1.8	18.39	2.0	6.44	14.5	13.13
400~500	36	-1.7	2.83	-12.7	21.91	0.0	6.96	19.8	17.09
500~600	32	-1.1	1.97	-9.7	17.20	0.3	10.68	17.4	13.91
600~700	6	-0.0	2.22	-2.2	21.19	-5.3	10.35	21.1	7.83
Total	198	-0.4	2.70	-3.4	17.35	0.3	7.06	13.8	13.14

グザグになった。 T_D と T_S がほぼ一致したまま推定航跡からとび出しているのは、 S_D の不定誤差によるものであり、全般に良好な測距結果であったことを示している。

S_D の間隔に広狭があるのは測角の間隔が一定でないためであり、最も広いところで約1分30秒、せまいところで約20秒である。鶴水はほぼ直進しているから経度が左右にずれるのは、 S_D の不定誤差によるものとして、ほぼ直線状態に並んだ各点を結んだ推定航跡からずれたものを0.005~0.01' 東西(5点)又は南北(3点)へ修正した。修正した S_D を基準としてプロットしたものが Fig. 81 である。Fig. 80, 81の両図を比較すれば、Fig. 81のトランスポンダの航跡はなめらかに湾曲し、実際の移動状況をほぼ忠実にあらわしているものとみられる。

(2) Fig. 82は、デッカ位置を船位とし、針路を 50° と 130° にして追跡したものである。船位の航路がジ

グザグになるのは、前述の不定誤差に加えて、第4章第5節の基礎実験において述べたごとく、2ノット以下の微速力(秒速1m以下)では、約30秒の測定間隔の間に移動する距離を緯度・経度方向に分解すると、両者が同時にデッカの最小位置単位の0.01'(約18.5m)に達しないため、隣合った測点で緯度か経度の一方の差が検出されないからである。測定当時の風向はNNW、風速約6 m/secであった。機関の使用方法は同じでも、実航速力は針路 130° のときの方がやや速くなる。従って針路 130° の場合の方が、船位の変化が大きくその航跡はジグザグが少なくなめらかになり、トランスポンダの方位線の間隔も、針路 50° のときよりやや広がっている。

測定距離 AC と CB の偏差はほぼ同じでも、ACの距離が300 m前後であった針路 130° の場合の方が偏位が小さく、 T_D と T_S はほとんど一致している。針路 50° では、やや大きい偏位のものが9点あるが、

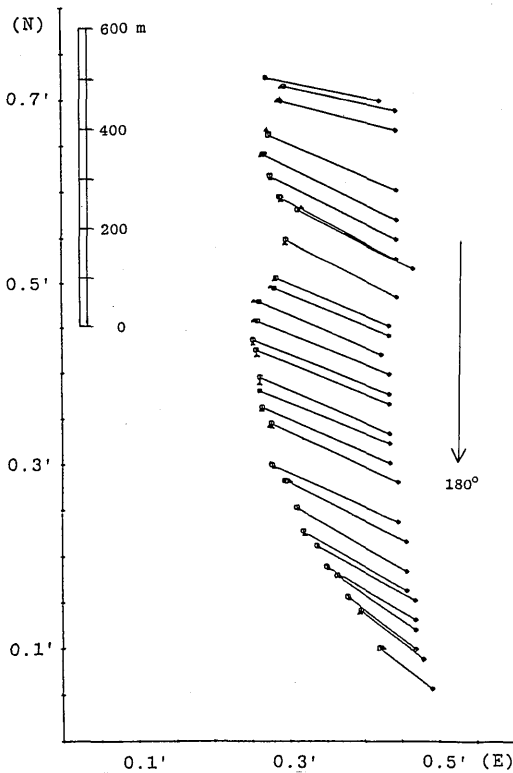


Fig. 80. An example of the transponder tracking (1a), ship's positions were fixed by Decca system (solid rhomb: S_D) and they are including some accidental errors (open dot: measured fix, T_D ; solid triangle: calculated fix, T_S ; gyrocompass course 180°).

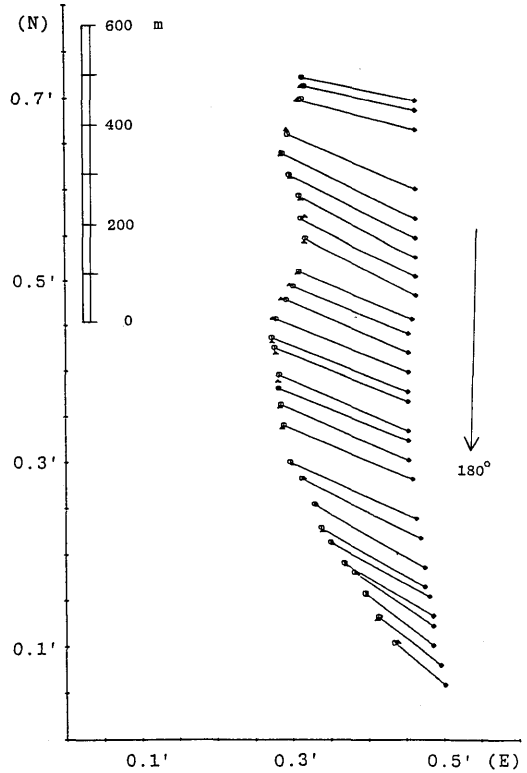


Fig. 81. An example of the transponder tracking (1b), ship's positions were fixed by Decca system (solid rhomb: S_D), their accidental errors were corrected (open dot: measured fix, T_D ; solid triangle: calculated fix, T_S , gyrocompass course 180°).

それぞれの距離偏差は10m以下(約2%)で、針路130°の場合とほぼ同程度である。測定距離の偏差は、システムに起因するものは等しい筈で、ほぼ同一距離で異なる値を示すものは、他の要因、すなわち測角値の誤差、測定時刻のずれなどによるものと考えられる。特に測角値の誤差は距離に比例して偏位に影響する。

針路50°では船位の航跡のジグザグに影響されてT_DとT_Sのそれらも同じ傾向を示しているが、船位を更に一桁多い0.001'単位で表示できれば、なめらかな航跡となろう。しかし、現状では電波航法機器でそこまでの精度の位置は得られないし、0.01~0.02'の不定誤差も存在する。実際の追跡では船位とT_Dがプロットされるのみだから、船位の不定誤差が除去できなければオンラインでプロットされた図で水中物体の数mの微細な移動を判断することは困難である。

2) ロランC位置を基準位置とした追跡例

(1) Fig.83は風向S, 風速2~3 m/sec のとき、

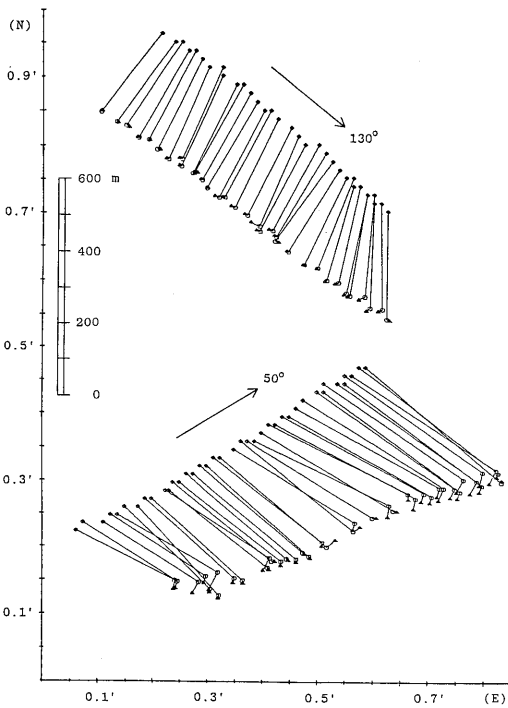


Fig. 82. An example of the transponder tracking (2), ship's positions were fixed by Decca system (solid rhomb: S_D) and they are including some accidental errors (open dot: measured fix, T_D; solid triangle: calculated fix, T_S; gyrocompass courses 50° and 130°).

針路180°で追跡した例である。ロランC位置の不定誤差がデッカ位置のそれよりやや大きいため、船の航跡はたびたび小さな蛇行を繰返したように見える。T_DとT_Sはほとんど一致しているものが多いが、53点の測定中、数十mの偏位を生じたのが9点である。従ってT_S(▲印)の点を結べば割合なめらかな航跡となるが、T_D(◎印)ではかなりジグザグになる場合がある。偏位が大きいときの方位線は、正常なものとは平行にならず、前後のものと交叉することがある。このことから方位線を参考にすればT_Dの偏位の大小が推定できる。また、トランスポンダが動かなければ、方位線はほぼ一点に集中する筈であるし、反対方向へ移動すればすべての方位線が交叉することになるから、方位線の変化状態からトランスポンダの動向、すなわち移動方向への速度の推定も可能である。

なお、T_Dの偏位が小さくても、船位センサに不定

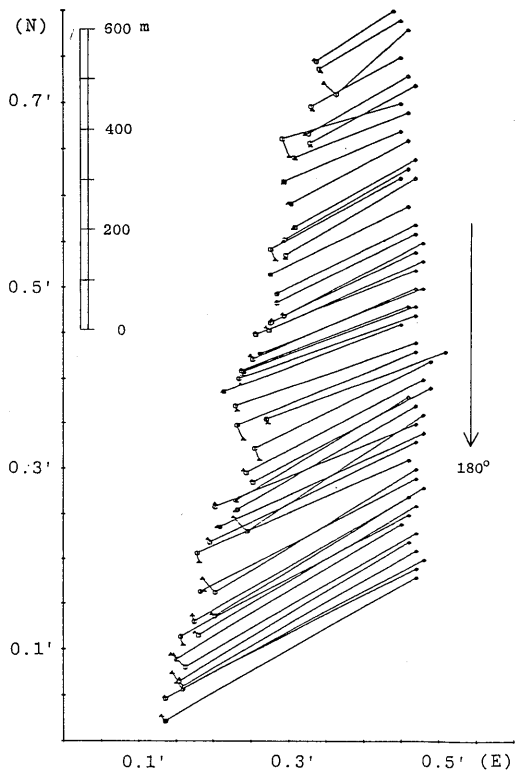


Fig. 83. An example of the transponder tracking (3a), ship's positions were fixed by Loran-C system (solid rhomb: S_C) and they are including some accidental errors (open dot: measured fix, T_D; solid triangle: calculated fix, T_S; gyrocompass course 180°).

誤差があると基準となる船位がずれて、方位線が交叉することもあるが、全体の航跡から実航針路を推定し、その針路線からのずれを修正すればよい。

デッキ位置を用いたときと同様に、推定した実航針路からのずれを0.005~0.020' 東西(29点)と南北(4点)へ修正し、それらの位置を基準としてプロットしたものが Fig. 84 である。偏位が数十mのものうち、方位線が他の方位線と交叉しているのは5点で、これは明らかに本システムの測距誤差によるものと推定できる。偏位が大きくても交叉していない4点では、 T_D と T_S が隣接するそれらの位置とどのような関係にあるのかをみると、 T_D の各点は船とほぼ等間隔であるのに、 T_S は間隔に広狭を生じたり、トランスポンダの推定針路からとびはなれたりしている。これらの点には測角値の誤差により T_S の位置誤差が生じたものと考えられる。なお、トランスポンダまでの距離が遠くなるにつれて、方位線の誤差

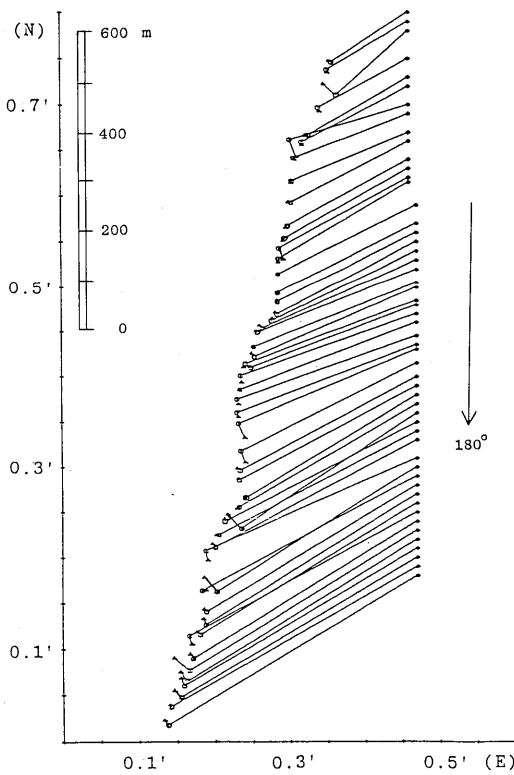


Fig. 84. An example of the transponder tracking (3b), ship's positions were fixed by Loran-C system (solid rhomb: S_c), their accidental errors were corrected (open dot: measured fix, T_D ; solid triangle: calculated fix, T_S ; gyrocompass course 180°).

が一定でも偏位量が多くなるから、交叉を生じやすくなる点に留意しなければならない。

(2) ロランC位置を船位とし、 230° の針路で追跡した測定例を Fig. 85 に示す。この海域ではロランCの位置の線の方向がそれぞれ南北と東西に近く、この針路とほぼ斜めに交叉する。従って、位置の線の不定誤差によって船位には緯度・経度の両方向の誤差が同時にあらわれる。鶴水は自動操舵により直進しているが、航跡が階段状になる。また、経度誤差のプラス・マイナスが交互に生ずるため、ほぼ等間隔で測定しているのに、2~3の測点が集中したり間隔が広くなったりする。

これらの船位の誤差が原因となり、 T_D と T_S がほぼ一致しているのに、同方向に2~3点が散在することが多い。数十mの偏位をもつ測点の出現率が(1)の場合よりも高く約20%に達している。そのために方位線の交叉が多く、トランスポンダの移動を正しく表現しているとはいえないが、概略の方向や距離の変化傾向(例えば $5\sim 10^\circ$ 単位の方向や0.05海里単位の距離の変化)を知るためには充分であろう。しかし精測するためにはデッキシステムを船位センサとして用いることが望ましい。

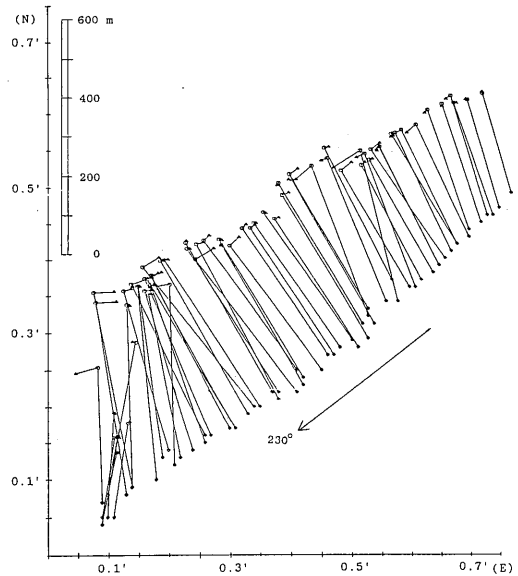


Fig. 85 An example of the transponder tracking (4), ship's positions were fixed by Loran-C system (solid rhomb: S_c) and they are including some accidental errors (open dot: Measured fix, T_D ; solid triangle: calculated fix, T_S ; gyrocompass course 230°).

第4節 要約

本システムはトランスポンダを用いた応答送信方式によるトラッキング装置と船位センサとして電波航法装置を組合せたものであるが、最大の特徴は送受波器の1個を曳航することにより長い基準線を採用したことである。そして水中物体の移動を追跡しながら、船位を基準として相対位置を記録、図示する。その位置の精度について、各種の実験を行なった。

トランスポンダと測距装置の両者を固定して、測距精度と測位精度について評価を行なった。偏差の平均値は5m以下、その標準偏差は4.7mで、トランスポンダまでの距離が増大しても偏差の変動幅はあまり変化せず、ほぼ一定している。実測位置の偏位は500m以上でも0.04海里にすぎず、平均で0.02海里以下である。

さらにトランスポンダのみを固定した場合と、両者をほぼ平行に航走しながらの追跡測定の実験を行なった。固定したトランスポンダの位置には船位の誤差が含まれるから、その位置のプロットは1点に集中しないが、システムによる測位と六分儀による測位の差は大部分が25m以下にすぎなかった。両者航走中の距離の偏差や位置の偏位は、固定点での結果とほぼ同じかやや小さくなっている。偏位の平均値は 19.8 ± 17.1 m (0.02海里)で、この値はデッカ位置の不定誤差に相当する。

実際の追跡では、船位センサとしてデッカシステムを用いた場合の方が、この不定誤差が少ないからなめらかな航跡となり、水中物体の実際の移動状況に近い形で描かれている。船位からの水中物体の方位線は船首方向を基準とするから、基準線の方角と船首方向(ジイロコース)のずれが大きくなれば、隣合う方位線が交叉する。また、実測距離の偏差が大きくて著しい偏位を生じたときも同様に方位線が交叉する。

以上の各実験の結果から、本システムの測位精度は、測定距離の誤差のほか、船位センサとして用いるデッカやロランCシステムの不定誤差にも左右される。たとえ不定誤差の補正ができて船位センサの最小単位以下の測定位置の偏位は除去できない。しかし方位線の変化状況から、水中物体の移動状況や測定位置の良否の推定は可能である。従って水中物体を広範囲にわたって自由に追跡するという所期の目的を十分に達し得るといえる。なお、精度向上のためには距離ACのC点における交角 θ が 10° 以

下にならぬように、すなわち、基準線の2~4倍程度の範囲で、水中物体の位置が基準線の垂直二等分線上の付近にプロットされるように操船しながら追跡すべきである。

第6章 結 言

1) まとめ

海上における位置の測定方法は従来の地物や天体を目標とする航法から、電波を利用したいわゆる電波航法へ推移し、それとともに利用範囲が拡大され、測位精度も改善されてきた。海上における位置、いわゆる船位は測定方法が新しく開発され、改良されるにつれて各種の目的に利用されるようになり、より高い精度が要求されるようになった。海洋開発、地球物理など海底を対象とする場合の測位精度に対する要望は一段と高いものとなり、時には大洋中でm単位の精度が必要であるとさえ云われる。

水産界においてもその各分野において、位置の精度に対する要望が高まり、特に200海里経済水域の設定とともにその傾向が著しくなった。漁業においては、底棲魚を対象とする業種では特に高い精度を要求し、0.025海里の定誤差であることが求められる場合もある。回遊性の浮魚を対象とする漁業ではそれほど高精度を要求されないが、それでも一般商船の要求精度より高い。また、前回操業した位置で再度操業するために再現性の高いシステムが要望されている。第1章ではこれらの位置の精度についての要望について論じた。それらの要求精度に対し、従来から用いられてきた地文・天文航法と現在一般的に用いられている電波航法について、各種のシステムの概要と今日まで行なわれてきた評価試験について第2章にその概要を述べた。

これらの位置測定方法のうち、連続測定が可能で再現性の高いシステムによる位置を利用して、水中物体の追跡装置の開発を計画した。第3章では水中物体の位置決定の基準とする船位の測定にデッカとロランCシステムを用いるために、九州北西岸海域における定誤差と不定誤差について評価試験を行なった結果について述べた。ロランCの定誤差はデッカのそれよりも少ないが、不定誤差はデッカの方が少なく、利用範囲はロランCの方が広いが、微細な行動を追跡するにはレーン幅のせまいデッカの方が適しているなど一長一短がある。しかし定誤差を前もって把握できれば、デッカ位置を基準とした方が、

水中物体の位置を確認しながら広範囲にわたって追跡するためには有効である。またデッキの定誤差はわずかな位置の変化でも異なることがあるので、ロランC位置も併用し、相互の変化状態をチェックしてデッキの定誤差の変化を求め、その補正値の修正をすれば効果的である。

第4章において、簡便で小型船で使用できるシステムの概念と構成について詳述し、予想される問題点について基礎実験を行なった結果について述べた。本システムの特徴は小型船で簡便に使用できることのほか、測位精度を向上させるために基準線を長くしたことである。そのためにマイクロホン1個を約100mのロープで曳航したので、基準線の方向の安定性と測定方法に問題があり、また追跡方向を変更すなわち調査船が変針した場合に曳航索が湾曲し基準線の方向が不正確となり、その間、測定位置の誤差が大きくなる欠点がある。前者については、微速力で航進していれば船首の振揺があっても、基準線はほとんど一直線を保ち安定していることを明らかにできた。また、後者については、水中物体の方位に誤差があっても距離は正確であるから、オフラインで解析することはできる。曳航索が湾曲している間は測定不能時間とすれば、その時間は平穏な海況では2~3分である。

第5章ではシステムの構成について説明し、本システムによる距離誤差とそれによる位置誤差についての実験結果と、追跡実験の結果を述べた。距離の偏差には定誤差的なものがあり、それが水中物体の相対方位の誤差原因にもなる。測定位置の偏位はほとんど10m(0.005海里)程度にすぎず、500~600mの距離でも最大50~60m(約0.03海里)である。船位の不定誤差が直接水中物体の位置に影響するので、その航跡はジグザグになるが、その位置精度は船位センサの精度以上とみてよく、充分満足できる結果であった。船位センサとしてはプロットイングのスケールと追跡範囲や目的によってはロランCでもよいが、定誤差が一定なせまい範囲で、ミクロな行動を追跡するためにはデッキを用いた方がよい。また、追跡中にデッキの定誤差が変化することが予想される場合にはロランCを併用して、デッキの定誤差の補正値を修正すれば効果的である。

システム全体としては、所期の目的を満足させることができたが、部分的には次にかかげる各種の問題点が含まれているので、今後の研究、改良が必要である。

2) 今後の問題点と改善方法

1) 水中物体の位置は船位を基準として計算されるから、精度の高い船位測定装置を用いることが必要である。しかしどのシステムにも誤差が含まれているから、測定海域における精度を把握して、補正値を決定しておかねばならない。現在、人工衛星を利用して、高精度の測位が可能といわれるGPS(Global Positioning System)の開発が進められているが、その早期完成と民間利用が可能になること、および受信装置の小型化と低廉化が進められることを期待したい。

現在でも沿岸海域ならば、電波測距・測位システムが使用できるが装置が高価であり、応答送信機を三角点のような位置が正確で、かつ見通し可能な地点に設置しなければならず、簡便さと小型船での利用可能を目的とする本システムには適切なものとはいえない。

2) 測距範囲は1,000mを目標値としてトラッキング装置を開発し、800mでの測定が可能であるが、遠距離になるほど基準線をのぞむ角度が小さくなり、測距誤差が決定位置の誤差におよぼす影響が大きくなる。従って、現在の基準線の長さ100mを約2倍程度に長くした方がよい。曳航索を長くすることによってその直線性が保持されやすくなる反面、変針時に湾曲している時間が長くなる。すなわち、測定不能時間が長くなるから、基準線の方位を自動的に連続測定し、その結果をオンライン処理する方法が必要となる。その一方法としては、曳航索の端にラジオブイをつけて、無線方位測定機で測定する方法が考えられる。しかし現存の測定機は手動式でオンライン処理ができないので、その方式の開発が必要である。別の方法としては前記のラジオブイの代わりに、レーダ電波の反射効果を高めるためレーダリフレクタ(反射器)を取付け、レーダで探知して測定する方法が考えられる。一般に使用されているレーダでは自動測定や、測定結果のオンライン化はできないが、衝突防止装置付のレーダならば最初に手動で目標を捕捉しておけば、以後は連続的に追跡してその方位(ジャイロコンパス方位)と距離の情報をマイクロコンピュータに出力できる。ただし、現用の装置は大型で小型船には装備できず、しかも高価であるから本システムには不向きである。しかし装置の小型化と価格の低廉化は、航行の安全の面からも早期に実現することが期待されているから、それらが達成されれば、方位情報を本システムに入力

し、オンライン処理も容易にできよう。大角度で変針すると曳航索の湾曲で基準線の長さが短くなるので、この面からも曳航索は200 mにした方がよい。また、基準線の方位が常時測定できれば、小型船は風浪やうねりによって船首が振揺し易いという欠点も解消できる。

3) 航走中のマイクロホンの姿勢保持。マイクロホンは、水平方向の指向性をもたないが、垂直方向には約20°の指向性がある。従って航走による水圧で傾斜すると、その傾斜角の大きさによっては送受信できない部分が生ずる。そのためにAマイクロホンは船底装備が望ましいが装備位置や方法について検討する必要がある。しかし、本システムは移設可能で簡便であることを目的の一つとしているから、船底装備は不適當である。Bマイクロホンは曳航することを前提としているから、両マイクロホンに共通の問題として取扱う必要がある。そのために水流の抵抗により上下左右へ振れないような構造の曳航体に取り付ける方法が考えられる。曳航体の姿勢の安定は曳航速力と深い関係があるが、その改良によってより高速での追跡も可能となる。

4) 本システムはマイクロホンを曳航する方式を用いているため、2), 3) で述べたような問題点があるので、これに代る方式としてはソナーを用いることも考えられるが、現用のものは水中物体からの反射波で距離と方位を測定する方式である。小型の物体では反射波も弱く、雑音との区別や方位の測定精度も低いから、特定の物体を追跡するにはトランスポンダ方式を用いざるを得ない。従って現用のソナーをそのまま利用できず、その改良が必要である。しかし、船底装置が大きいことなどの点から特定の船にしか装備できない欠点がある。

5) 本システムに限らず、トランスポンダ方式の共通の問題点は、トランスポンダの小型化である。さらにその装着方法が簡単であることと、使用電池の寿命と出力等の問題がある。これらの点については、バイオテレメトリーの分野で小型化の研究が進められているので、今後の改良に期待する。

6) トラッキング・ユニットについては、測定値の精度の問題がある。受信信号の相関をとり雑音を区別するが、しばしば判別不能による誤動作を生ずる。従って、雑音除去や相関信号の改良による誤動作防止の方法を更に検討する必要がある。またソフトウェアの面でも、ある程度の誤情報の判別を行なうように改良する必要がある。

距離測定値の表示はA→B, A→Cと同様にA→C→Bについても3桁の数値を示すのみであるが、ACが600 m以上でも測定できるから、少なくともA→C→Bについては4桁の表示が必要である。

以上のごとく、本システムには改良すべき多くの問題点が含まれているが、現状でも所期の目的、すなわち、軽便で簡単に移設でき、小型船でも長時間にわたり水中物体を追跡することの可能性について、その有効性が確認できた。またシステムの測位精度は、船位センサの精度に左右されるが、その精度は従来のピンガー方式による精度をはかるに上廻り、マイクロな行動の解明に役立つものと云える。

謝 辞

本研究に際し、長期間にわたり終始御懇篤なる御指導を賜った東京大学海洋研究所漁業測定部門青山恒雄教授(現下関水産大学校長)に心から感謝し、厚く御礼申し上げる。

なお本研究は測定装置の試作と海上実験が中心となっている。そのために多くの方々のお援助と御協力のおかげで研究成果が得られたが、中でも特に次の方々に厚く御礼申し上げる。トラッキング・ユニットの作製に際し多大の御便宜、御指導をいただいた長崎大学学長保田正人教授、長崎大学水産学部航法科学研究室日高昇教授、鶴洋丸船長阿部茂夫教授、長崎丸船長矢田殖朗教授、東京大学海洋研究所漁業測定部門青木一郎助手、稲垣正技官、清水碩子事務官、東海大学海洋学部中村朗講師、沖電気(株)西川信行氏、ワイズ・パーソナルコンピュータ(株)石橋博氏、海上実験にあたり、終始御協力いただいた鶴洋丸次席一航士吉村浩助教授、長崎丸三航士久野俊行助手、調査船鶴水(船長山崎練太郎技官および乗組員各位。

また本論文の作成に関して数多くの御教示と御助言をいただいた鹿児島大学水産学部田口一夫教授、約十年にわたる測定実験に常に帯同して御協力され、本論文の資料整理や図表作製にも多大の御援助を下された長崎大学水産学部航法科学研究室合田政次助教授に厚く御礼申し上げます。

文 献

阿部真治・田中鉄一・西 周次 1981: オメガと推測航法によるハイブリッド航法。日本航海学会論文集(64), 21-30.

- ATUMI, E. 1979: AN Application Experience of NNSS in Fishing and Some Requirement for System Improvement, Proc. Ion, May, 1979, 189—199.
- BENNETT, R. 1979: Navigational Aids for the Deep Sea Fishing Industry, IMAS, 1973, Group 6, 1—4.
- COAST GUARD 1972: Radio Aids to Navigation for the U. S. Coastal Confluence Region Interim Report No. 1, User Requirement.
- DECCA NAVIGATION Co. Ltd. 1973: The Navigator Instructions and Marine Data Sheets Part 2.
- 合田政次・中根重勝・日高 昇 1982: ロランCシステムの評価—I. 長大水産研報(52)55—61.
- HAINES, G. 1976: Navigation for the Fishing Industry, J. Inst. of Navigation, 29—1 Jan 1976, 57—68.
- 浜田悦之・斎藤清隆・鈴木 裕 1980: 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, 日本航海学会論文集(63), 71—75.
- 浜田悦之・鈴木 裕・柳川三郎・佐々木幸康 1973: 磁気テープ記録方式によるオメガシュミレータ I. 日本航海学会論文集(49), 95—102.
- 平岩 節 1971: 船位論, 成山堂, 東京.
- 平岩 節・坂本有隣・米田国三郎 1978: 函館におけるオメガ測定値の統計的考察—V. 日本航海学会論文集(59), 85—91.
- 平岩 節・坂本有隣・米田国三郎 1981: 一定点におけるオメガ位置の精度について, 日本航海学会論文集(64), 1—8.
- HOERBER, J. L. 1979: Satellite Navigation for Fishing vessels. The Fish Boat, Apr 1979 43 and 45.
- 飯島幸人 1974: 近距離航行における要求船位精度, 航海(43), 10—15
- 石井隆広雄・羽倉幸雄・永井清二・大内長七 1975: オメガ電波の伝搬, 航海(47)18—29.
- 伊藤 実 1976: ディファレンシャルオメガに対する一考察, 日本航海学会論文集(55), 107—111.
- 笠原喜代美・加藤増夫・今吉文吉 1969: ロランC信号の自動追尾航跡自画受信機について, 日本航海学会誌(41), 73—80
- 木村小一 1970: Navy Navigation Satellite System による位置測定実験について, 日本航海学会誌(44), 81—91
- 木村小一 1971: 船の速力誤差などがNNSSの測位計算に及ぼす影響, 日本航海学会誌(46), 1—8
- 木村小一・奈須英臣 1973: 電波伝搬上の屈折効果がNNSS測位に及ぼす影響, 日本航海学会論文集(49), 103—108
- 木村小一・奈須英臣・庄子和民 1974: NNSSによる測位精度について, 航海(42), 67—72
- 木村小一・奈須英臣・内野秀雄・山崎 浩 1976: NNSSを利用した高精度3次元測位について, 日本航海学会論文集(55), 111—125
- 木村小一 1977: 衛星航法, 海文堂, 東京
- 木村小一 1981: 衛星「NOVA」について, 航海(67), 43—52
- 松本吉春 1974: 地文航法・成山堂, 東京
- KONAGAYA, T. 1982: A New Telemetric Method of Determining the Position of Swimming Fish. Bull, Jap. Soc. Sci. Fish, 48 (11), 1545—1550.
- KUROKI, T., KAWAGUTI, K., SAKAMOTO, W. AND WATANABE, H. 1971: A New Telemetric Apparatus to Detect Fish Location and its Surrounding Water Temperature. bull, Jap. Soc. Sci. Fish, 37 (10), 964—972.
- LUSE, J. L. and CHICAMI, L. 1979: Use of Satellite Navigation by Tuna Seiners. Proc. ION, May, 1979, 127—132.
- 松野保久・源河朝之 1972: ロランA地表波伝搬の変動要因に関する研究—I. 日本航海学会論文集(47), 1—11
- 松尾 晋・田口一夫・吉村裕光 1972: オメガ航法システムの海上実験, 日本航海学会論文集(47), 23—33
- MITSON, R. B. and STORETON-WEST, T. J. 1971: A Transponding Acoustic Fish Tag, The Radio Electronic Engineer. 41 (11), 483—489.
- 三浦汀介・西山作蔵 1976: 魚体位置観察用テレメータの試作, 日本水産学会誌, 42(10), 1077—1082
- 三浦汀介・中村秀男・西山作蔵 1977: 魚体位置観測用テレメータの図形化データ処理システムについて, 日本水産学会誌, 43(10), 1157—1161
- 三好雄一・前田文郎 1979: オメガ航法システム利内実績についての調査結果—II. 日本航海学会論文集(61), 39—60
- 三好雄一・児玉敬一・前田文郎 1980: オメガ航法

- システム利用実績についての調査結果—Ⅲ, 日本航海学会論文集(62), 1—12
- 三好雄一・前田文郎 1981: ベルシャ湾航路におけるオメガ航法利用実績, 日本航海学会論文集(64), 39—44
- 水上 弘 1965: 台湾南西海域におけるロラン空間波補正値修正並びに修正表について, 日本航海学会誌(32), 63—70
- 長尾修爾 1975: ベーリング海におけるロランCとオメガの比較実験について, 航海(47), 47—50
- 中根重勝・日高 昇 1969: 天測の個人誤差について, 長大水産研報(28), 205—212
- 中根重勝・井上正六 1972: 北九州デッカ・チェンの評価試験—Ⅱ, 長大水産研報, (34), 75—84
- 中根重勝・合田政次・高木保昌 1975: 北九州デッカ・チェンの評価試験—Ⅲ, 長大水産研報, (39), 17—23
- 中根重勝・合田政次 1981: 北九州デッカ・チェンの評価試験—Ⅳ, 長大水産研報(51), 41—49
- 中根重勝・吉村 浩・合田政次 1984: レーダ方位・距離の精度について, 長大水産研報(55), 33—37
- 中根重勝・稲垣 正・中村 朗・青山恒雄・合田政次 1984: 水中物体追跡システムの開発—I, 長大水産研報(55), 25—32
- 中根重勝・青山恒雄・合田政次・稲垣 正・中村 朗 1984: 水中物体追跡システムの開発—Ⅱ, 長大水産研報(56), 25—31
- 中根重勝・合田政次・青山恒雄・吉村 浩・稲垣 正・中村 朗 1985: 水中物体追跡システムの開発—Ⅲ, 長大水産研報(57), 47—55
- 西 周次・木村小一 1974: オメガ/NNSSハイブリッド航法のカルマンフィルタの応用, 日本航海学会論文集(52), 125—131
- 西 周次 1979: NAVSTAR/GPS (全世界測位システムの紹介) 航海, (62), 9—19
- 西野朝生・木村小一 1972: 星光丸における船位決定システムの評価について, 日本航海学会論文集(47), 35—44
- 並川能正・樽美幸雄・笠原包道 1967: 天測船位とロラン船位について, 日本航海学会誌(38), 93—99
- 並川能正 1967: 航海数学, 海文堂, 東京
- 奈須英臣・木村小一 1978: 400 MHz 1波NNSS受信測位精度改善の一方法, 日本航海学会論文集(59), 99—107
- 西谷芳雄・米沢弓雄 1964: ロラン方式における空間波の伝搬特性—Ⅴ, 日本航海学会誌(31), 41—46
- 奥田邦晴・庄子和民 1979: NNSにおけるアンテナ高とジオイド高の入力について, 航海(60), 44—48
- 奥田邦晴・庄子和民 1979: NNSの位置誤差について, 日本航海学会論文集(61) 1—10
- 坂本有隣・平岩 節・米田国三郎 1981: 函館におけるオメガ測定値の統計的考察—Ⅶ, 日本航海学会論文集(64), 9—20
- 鯨島直人 1953: ロラン位置の線の実測誤差について, 日本航海学会誌(9), 35—42
- 佐藤尚登・広田直照・田口一夫 1979: デッカ双曲線の誤差の長期変化と電波伝搬速度, 日本航海学会論文集(61), 29—38
- 白旗総一郎 1971: バイオテレメトリー機器を魚の体外に装置した場合魚の行動に与える影響, 海洋生物テレメトリー研究会報, (No.4), 1—12
- 進士 晃 1976: 測値系変換図(海図6019号)の刊行, 航海(50)47—52
- 鈴木裕一・原田幸夫 1968: 北海道デッカ波の位相速度, 日本航海学会誌(40), 107—110
- 田口一夫 1965: ロラン地表波測定値に変動を与える要因—Ⅴ, 日本航海学会誌(37), 5—21
- 田口一夫・松野保久・合志 昭 1968: 航行用100 KHz電波帯の伝搬特性の解析とそれらによる船位精度の改善—I, 日本航海学会誌(39), 101—110
- 田口一夫・天野信文・大原雄一 1969: 航行用100 KHz電波帯の伝搬特性の解析とそれらによる船位精度の改善—Ⅳ, 日本航海学会誌(42), 119—126
- 田口一夫 1970: オメガ/VLF航法システムの海上実験, 日本航海学会誌(43), 113—120
- 田口一夫・松尾 晋 1971: 航行用100kHz電波帯の伝搬特性の解析とそれらによる船位精度の改善—Ⅴ, 日本航海学会誌(45), 7—16
- 田口一夫他7名 1971: 北九州デッカチェンの評価と伝搬特性(瀬戸内海西部) 日本航海学会誌(45), 17—26
- 田口一夫 1971: オメガ航法システム, 成山堂, 東京
- 田口一夫・松尾 晋 1971: 航行用100kHz電波帯の伝搬特性の解析とそれらによる船位精度の改善—Ⅵ, 日本航海学会誌, (46), 17—24
- 田口一夫他6名 1972: 北九州デッカチェンの評価と伝搬特性(瀬戸内海西部)—Ⅱ, 日本航海学会論文集(47), 13—21
- 田口一夫他6名 1973: 北九州デッカチェンの評価

- と伝搬特性(瀬戸内海西部)－Ⅲ. 日本航海学会論文集(49), 115-120
- 田口一夫・豊田瑞義・塩山寿男・山崎孝助 1973: 航行用100kHz電波帯の伝搬特性の解析とそれらによる船位精度の改善－Ⅶ. 日本航海学会論文集(49), 129-135
- 田口一夫他8名 1974: デッカ電波の長距離伝搬特性－Ⅰ. 日本航海学会論文集(51), 33-39
- 田口一夫 1974: オメガ信号の擾乱. 日本航海学会論文集(52), 109-115
- 田口一夫 1976: 最新航法システム. 海文堂, 東京
- 田口一夫他7名 1976: デッカ電波の長距離伝搬特性－Ⅱ. 日本航海学会論文集(54), 1-10
- 田口一夫・木村小一 1977: オメガ信号の Cycle jump. 日本航海学会論文集(57), 47-55
- 田口一夫 1979: オメガ信号の Cycle jump－Ⅱ. 日本航海学会論文集(60), 21-28
- TAGUCHI, K. 1980: Use of Omega in Commercial Fishing. 10A Symposium Aug, 1980, 7, 1-7, 14.
- 田口一夫・山下亨子 1980: 海洋中にある円形の島によるL F帯地表波の位相擾乱. 信学論63-B, 3, 195-202
- 田口一夫・佐尾和夫 1981: 気象の影響によるデッカ双曲線の変動. 信学論(B)64-B, 4, 295-300
- 田口一夫・佐尾和夫 1981: デッカ航法における双曲線の船位誤差. 信学論(B)64-B, 301-304
- 高木保昌・中根重勝・合田政次 1975: 天測計算の誤りについて. 長大水産研報(39), 25-30
- 田辺 稜 1974: 実用レーダ航海. 成山堂, 東京
- 樽美幸雄・和気博嗣・笠原健夫 1976: N N S S と従来の船位測定法による船位の相対誤差について. 日本航海学会論文集(54), 37-42
- 樽美幸雄 1977: トランジットシステムにおける各種の改良点. 航海(51), 39-42
- 樽美幸雄・和気博嗣・上原 雅 1977: N N S S の定点における測位精度－Ⅰ. 日本航海学会論文集(48), 1-8
- 樽美幸雄 1979: 商船におけるN N S Sの使用実績について. 航海(62), 20-27
- 樽美幸雄他5名 1980: N N S Sの定点における測位精度－Ⅲ. 日本航海学会論文集(62), 23-31
- 和気博嗣・樽美幸雄 1972: ロラン・天測両船位の相対誤差について. 日本航海学会論文集(48), 1-8
- WATKINS, W. E. and SCHEVILL, W. E. 1972: Sound Location by a non-rigid three-dimensional Hydrophone Arrey. Deep-Sea Reserach, 1972, 691-706.
- WIEDER, B. 1971: Use of Loran C Over Land. Program of 25th Anniversary Frequency Control Symposium, 25-28.
- 渡辺泰夫 1975: 山岳による長波波面の回折について. 日本航海学会論文集(53), 27-32
- 渡辺泰夫 1976: デッカ電波の山岳地における伝搬速度に関する一考察. 日本航海学会論文集(55), 113-117
- 矢吹英雄・斎藤重信 1981: オメガ船位の精度について. 航海(67), 1-10
- 矢吹英雄 1981: オメガ船位の精度について－Ⅱ. 航海(69), 19-28
- 矢吹英雄 1982: 北太平洋におけるオメガの精度について. 日本航海学会論文集(66), 73-82
- 山崎孝助・田口一夫・佐藤尚登 1974: 航行用100 kHz CW波の地勢による伝搬特性. 日本航海学会論文集(51), 41-46
- 安田岩男・杉原昭一・矢吹英雄・津留 勇 1973: 大成丸によるN N S Sの評価. 航海(40), 41-49
- 米田国三郎・佐々木成二 1977: Differential方式によるオメガの伝搬補正について. 日本航海学会論文集(58), 33-39
- 米田国三郎・佐々木成二 1979: オメガシステムによる測得位置について. 日本航海学会論文集(60), 13-19
- 米田国三郎 1981: 北洋海域における漁船の位置測定. 航海(67), 11-15
- 米田国三郎・平岩 節 1982: 一定点におけるオメガ測位精度の微視的変動. 日本航海学会論文集(66), 83-88
- 米沢弓雄・四之宮博・小林忠吉・西谷芳雄 1968: ロランC簡易受信器による観測結果に対する考察－Ⅱ. 日本航海学会誌(40), 97-106
- 米沢弓雄・大久保隆・三好雄一・西谷芳雄 1978: ロランC自動受信指示器による観測結果に対する考察－Ⅰ. 日本航海学会論文集(59), 67-74
- 吉田主基・中村 朗 1973: 超音波システムによるブリの追跡. 海洋生物テレメトリー研究会報 (No. 5), 50-51
- 吉村 浩・中根重勝・合田政次 1980: 長崎港内の定点における衛星航法システムの評価について. 長大水産研報(48), 41-47

Studies on the Development of the Tracking System for the Underwater Moving Object

Sigekatsu NAKANE

Summary

Since various electronic navigation systems have been developed as measuring instruments of the position at sea, the position measurements can be automatically made at all times regardless of the weather and in all the space of the world. These systems provide not only the knowledge of the right location but also very useful pieces of information about the fishing industry, the marine survey and the exploitation of the ocean. Under these circumstances, new systems have been developed by the requirements for extension of application and high accuracy, together with the improvement of the instruments.

The purpose of this study is to develop a simple and convenient system for tracking the underwater object and for recording the movement of its location continuously.

As the electronic navigation system makes automatic location possible, location can be established at all times and in a wide area on the sea. The position of this object measured on the ship strongly depends upon the accuracy of the ship location also determined by the navigation system. Therefore, various locating systems were examined on their systematic and accidental errors. In addition, the accuracy of position, namely its allowable error which is demanded in the fishing industry was discussed for each individual type of industry.

1. Accuracy of location in the fishing industry

The accuracy of location desired in the fishing industry can be classified under two large groups. One is the case of nektonic fishes and the other is that of benthonic fishes. In the former case, a rather crude accuracy of about a nautical mile (N. M.) can be permitted. On the contrary, a systematic error less than 0.5 N. M. and then a very small accidental error is demanded in the latter case so as to obtain high reproducibility. Especially, a minute accuracy is desired for the trawl fishing and the crab basket fishing, because the trawl-net usually go up and down in the same region and the basket of crab must be deposited like a pin point.

In marine research, an error of 1 N. M. is generally good enough for a marine survey, but the systematic error within 0.1 N. M. and high reproducibility are needed for setting an artificial fishing reef. A severe accuracy of 0.1 N. M. also desired in the research of the behavior and ecology of fishes.

2. Valuation of various navigation systems

The accuracy of astronavigation in use so far is the same as those of Loran-A and the Omega systems. However, this system takes a long time to process data and cannot be used on cloudy days even in the daytime. In addition to this, its accuracy depends on the skill of an observer. Although the radar system and the

early Loran-A and C systems had similar disadvantages, these systems have made continuous measurements possible with the aid of a computer-assisted automated receiver.

The accidental error of the Decca navigator system, which is recognized as the most excellent one, is as small as 0.01 to 0.05 N. M., so that its reproducibility is high. In spite of this, it should be kept in mind that its systematic error varies in a narrow region near the coast because of influence of topography on the phase of radio wave. The Omega system covering all the world lacks precision, for its systematic error ranges from 2 to 5 N. M. The intermediate system between the above two is Loran-A, for which a mean error of 1.0 N. M. is estimated. However, improved Loran-C has an excellent reproducibility because of a small error of 0.1 to 0.5 N. M. The satellite navigation system having two transmitting frequencies (NNSS) gives the accurate position in a systematic error of 10 m and an accidental error of several dozen m, although it has a disadvantage that the time interval till the next measurement reach about 1 or 2 hours by the latitude of the location.

The Decca system and Loran-C are most adequate for the purpose of the detection and tracking of underwater objects, because these systems provide a minute fix accuracy with a small error. The errors accompanied with these systems were examined on the land base point and experimental region of the sea. As the result, the errors range from 0.01 to 0.03 N.M., so that the position can be determined within an error of less than 0.05 N. M. by compensating for the systematic error of 0.33 N. M. for the Decca and 0.15 N. M. for Loran-C.

3. Construction of the tracking system and its problems

(1) A transmitter-receiver unit with a transponder was applied in this study. Microphone A was attached under water alongside of the ship and microphone B was situated at a distance of 100 m from the stern. The distance between microphone B and the stern was kept constant in order to form a base line between the two microphones. The length of this base line was measured by supersonic waves and its direction was adjusted to the ship's head. The location of the transponder C was determined from the distances of three sides AB, AC and CB. The latitude and longitude of this position was evaluated on the basis of the ship's position sensor. These data were recorded on the printer, and was tracked in detail and continuously by the aid of a plotter.

(2) The direction of the base line agreed with the direction of the ship's head when the ship was moving straight. Under altering course, however, these directions were different because the towing rope extending from the stern to microphone B was in a curved line. Hence, the measured values of position C had large errors in the time from the beginning to the end of a altering. Since in a state like this the duration time of a altering depended on the velocity of the ship, and of the wind, and the wind direction, etc. We measured how long the rope continued to be curved when we altered 45° and 90° at a speed of 2 knots in the case where it was calm and where there was 7 m/s wind. In conclusion, the time could be successfully cut down provided that the altering course was performed about 30% beyond the scheduled angle and then taken back to the intended direction. The duration time was about 2 minutes for the altering of 45° and about 3 minutes for 90°. In addition,

the speedup of the ship was also effective in reducing the duration time.

(3) The direction of the base line varied corresponding to the yawing of the ship's head. However, the ship's head could be treated as constant despite the yawing, so long as the towing rope was kept in a straight line. While the ship was moving straight at a constant speed of 2 knots by an automatic steering, the angle between the point B and the fore and aft line of the ship was measured with an interval of 30 seconds by the repeater of gyrocompass. The amplitude of the yawing angle in calm condition was about 2° and its period was about 1.5 to 2 minutes. Since the ship was drifted to the leeward by a transverse wind with a speed of 7 m/s, the towing rope was bent windward from the fixed point on the stern. Although the mean deviation angle was about 4° in the case of a due transverse wind, its standard deviation was smaller than in the case of a head wind, and the ship's head was kept slightly steady direction. On the whole, the yawing ranged from 2 to 3° and it was safe to say the rope continued to be in nearly straight line. Therefore, ± 2 to $\pm 3^{\circ}$ of play was allowed in the direction of ship's head for computation of the transponder position. In the case of a yawing angle greater than this value, the direction of the base line was altered and the computed position had fairly large error.

4. Accuracy of the measured distance and position

(1) Along the wharf the base line between microphones A and B was fixed, and the boat was moved several hundred meters from the wharf with spaces of about 100 m, from which transponder C was hung underwater. The boat was anchored for the measurement each time. What we got was the calculated distance that was determined by the triangulation from the base line and its included angles. We also measured distance on the basis of the method described above. The difference between the calculated distance and the distance by actual measurement was compared and discussed. The mean values were 1.2 m for AC line and 0.1 m for BC line respectively and the standard deviations were ± 4.6 m and ± 4.7 m respectively. These values of standard deviation were only 1.4 % of the full length. The standard deviation of the difference was also estimated at every 100 m distance of AC or BC. These values fell within the range from ± 2.6 m to ± 5.4 m, that is, they were rather stable, hardly depending on the full length. Therefore, the ratio of the standard deviation to the full length had best be classified at 100 m or 200 m intervals of the full length.

(2) The deviation of the measured position was 0.02 N. M. on the average, and only 0.04 N. M. even in the case of longer than 500 m. As the deviations of the horizontal axis and the vertical axis components were 23.9 m and 11.1 m respectively, they formed an error ellipse with the major semiaxis on the horizontal axis. The accuracy of position C was simulated by changing the angle ACB and the distance between AC and CB. As a result, we found this angle should be larger than 10° in order to obtain a high accuracy, that is, the distance to the underwater object should be within the range of 2~4 times longer than the base line. We also found that the difference in length between AC and CB should be less than one-half of the base line, that is, the underwater object should be nearly on the perpendicular bisector of the base line. The farther point C gets, the more important this

formation becomes.

5. Experiments in tracking

(1) While moving the research vessel with the transponder fixed, we measured and compared the distances between AC and CB on the system, and at the same time measured the angles ACB and CAB with the sextants. The result showed an error distribution of point C scattered within about 0.1 N. M., although point C had been expected to be fixed. The reason was that the location of ship was determined on the Decca system and an accidental error of 0.01~0.02 N. M. was attributed to this equipment. Another error was a systematic error due to the change of the ship's head.

(2) Another experiment similar to the above was conducted; the motorboat with transponder C under the water moved in almost parallel with the ship, and, as in the former experiment, we made use of the measuring system and the sextants and we compared the results of both. The ratio of the deviation length to the full distance was nearly equal to the above case on the whole, although the values were somewhat larger in a small range of the full distance. The mean deviation was 19.8 ± 17.1 m (less than 0.02 N. M.), which corresponded to the accidental error of the Decca system.

(3) The tracks both of the ship in motion and the underwater object, which were plotted on a chart, were moor smooth by aid of the Decca system as a sensor of the ship's position than by aid of the Loran-C system. This was due to the difference of their accidental errors. As the accidental error of the Decca system is smaller, the track of the underwater object determined on this system was closer to the real one.

Since the line between the ship and the underwater object showed both the relative direction and the distance, we could tell how good the results were by observing its changing tendencies.

It can be confirmed from the experiments described above that the position of the underwater object is successfully tracked by the present method with accuracy comparable to the accidental errors of the Decca or Loran-C systems. Since the present study is restricted to the measurements of the object moving horizontally, it is necessary to make a further study of the measurements of the depth of the object, the choice of the length of the base line and the measuring techniques in an altering condition in the future.