

ELECTRONIC NAVIGATION REVIEW

電波航法

JACRAN. 14

1972

電波航法研究会 発行

Published by the Japanese Committee
for Radio Aids to Navigation

WORLD WIDE SERVICE



オメガ送信局配置計画図

注 ● 実験局として運用中

OMEGA RECEIVER

米ノースロップ社との技術提携



セナー株式会社



沖電気工業株式会社



富士通株式会社

一 目 次

CONTENTS

卷 頭 言.....副会長 庄 司 和 民...(2)
Forewords Kazutami SYOJI

講 演 Lecture

航海術の歴史.....茂 在 寅 男...(4)
The History of Sea Navigation Torao MOZAI

航空航法の現状と将来.....岡 田 実...(8)
Present Status and Future Prospect of Aerial Navigation Minoru OKADA

海洋航海の懐古.....篠 田 不可止...(14)
Recollection of Ocsan Navigation Fukashi SHINODA

衛星航法とその将来の展望.....木 村 小 一...(18)
Satellite Navigation and its Future Prospect Koichi KIMURA

電波標識の現状と将来.....只 野 暢...(24)
Present and Future Progress of Radio Navigation Aids..... Tohru TADANO

展 望 Observation

カルマンフィルタとその航法への応用 (解説)森 田 清...(28)
Kalman Filter and its Application to Navigation Kiyoshi MORITA

経緯度系と時刻系.....進 士 晃...(34)
Geodetic Systems and Time Systems Akira M. SINZI

欧米主要空港視察記 (せかいのおもなくこうみであるき)松 行 利 忠...(43)
The Report of Examination Trip of World Airports Toshitada MATSUYUKI

新製品紹介 Introduction of New Products

衝突予防システム “MARAC-II”安立電波工業株式会社...(47)
Anti-Collision System “MARAC-II” Anritsu Electronic Works Ltd.

レーダ衝突予防装置 (TPS-II 型)協立電波株式会社...(48)
Anti-Collision Radar System “Type TPS-II” Kyoritsu Dempa Co., Ltd.

衝突予備装置 JAS-350日本無線株式会社...(49)
Anti-Collision System “Type JAS-350” Japan Radio Co., Ltd.

研究会記事 Record

昭和 46 年度事業報告電波航法研究会事務局...(52)
Record of the Work Carried Out by the Japanese Committee
for Radio Aids to Navigation During Japanese Fiscal Year 1971

FOREWORD

Vice-chairman Kazutami SYOJI

Last year, it was the 20th anniversary of the foundation of Japanese Committee of Radio Aids to Navigation, and it can be imagined that we are now in a new age of rapid progress. When we recollect the time of starting of our committee (1951), it was the time that the navigational technique started to changing greatly according as progress of electronics. Especially the technique of "Radar" and "Loran" which had been developed at U.S.A. in the world war II was released and all navigators were eager to use them in merchant ships.

At that time, our committee acted as a middleman between navigators and manufacturers, and rendered great services to the development of the electronic navigation in Japan by giving the field exchanging free discussions of them with investigators and government's persons concerned.

We can find the change the proceeding current in the electronic navigation between the first half 10 years and the second half 10 years. In the first half, it was rather aimed to make such good electronic instruments of navigation as foreign goods absorbing advanced engineerings developed in U.S.A., but in the second half, it was found to make up refined ones of Japanese own adopting user's advices.

In the future 10 years, it seems to be a main current to make a system of navigational instruments using the technique of the information processing with computer like as "SEIKO-MARU" and others. It would be expected to advance greatly when the soft-ware of navigators combine with the hard-ware of manufacturers by intermediation of our committee.

Recently, the basis of our committee has been firmer, I believe the development of the committee is related with the development of the electronic navigation, so I hope that all members co-operate unanimously recognizing the important part of our committee.

巻 頭 言

副会長 庄 司 和 民

電波航法研究会も、昨年をもって創立 20 周年を迎えここに新しい飛躍の時代に入ったということができましよう。本会が発足した当時(昭和 26 年)をふりかえてみますと、漸く台頭しはじめた真空管による電子技術の進展にとまなつて、航海技術が大きく変りはじめた頃でありました。特に米国が第 2 次大戦中に開発したレーダおよびロランが民間に開放され、商般は競つてこれらを利用しはじめました。その時、本会は、航海者と製造者の橋渡しの場として、これに研究者と政府機関の当事者が相集い、互いに自由な立場で意見の交換や、討論をすすめて、斯界の発展に大きな貢献をして来ました。

それからの 20 年間の経過を考えてみますと、前半の 10 年間と後半の 10 年間に、電波航法の流れが変わつたものがあることを感じます。前半の 10 年間は、どちらかといえば米国で開発された新技術を吸収して、米国に劣らない電波航法機器を造り上げることが一応の目標でありました。しかし後半の 10 年間は、吸収した新技術をもとにして、日本独自の開発がすすみ、利用者の意見もとりいれ乍ら、洗練された航海用の電子機器をつくり上げたということが出来ましよう。

これからの 10 年間について考えてみますと、ここ数年のうちに急速に導入された IC、LSI 等の技術の応用や、星光丸その他の般にみられるような電子計算機による航法機器のシステム化、情報処理技術の利用等が大きな流れになると考えられます。

この時にあつて再び製造者と航海者の緊密な連繫が必要であり、航海者のソフトウェアと、製造者のハードウェアが一体となつてはじめて大きく発達することが期待されます。両者のかけ橋となつて、そのきづなを結ぶ役目を電波航法研究会がになうこととなります。

最近ようやく本会の基礎が固まってきましたし、その果すべき役割の重大さを認識して、会員のかたがその一致協力によって本会の発展が遂げられるならば、ひきもなおさずそのことは斯界の発展につながることを思います。



Lecture

昭和46年11月18日当会創立20周年記念講演会
での講演に加筆したものである。

航海術の歴史

東京商船大学* 茂在寅男

The History of Sea Navigation

Tokyo University of Mercantile Marine*

Torao MOZAI

ご紹介にあずかりました茂在でございます。本日は航海術の歴史を私に話せということで準備してまいりましたが、航海術の歴史を述べるのに40分という制限された時間でございまして、これも全部述べるわけにはいきません。そこで私の話は、大昔の方に話の概略をしぼってお話ししようかと考えております。

さて人間は本来陸上の動物であります、しかし我々人間の祖先は決して水上を渡ることなしの陸地のみにとざされた生活というものには甘んじておりません、彼らは海を恐れず、次々と生活の行動範囲を広げていったわけでありました。考古学的にこれを見ましても、いわゆる新石器文化の跡というものがナイル川とかドナウ川あるいはチグリス・ユーフラテス川の流域にいろいろの発掘物が発見されるということからうなづかれることでありますが、非常に古い発掘物の中に例えばもりとかつり針というようなものがあることからしても彼らは水に親しんだということがわかるわけでありました。少なくとも彼らの文化というものはこの水の周辺からできています。ただその時代には想像できないわけですが、それから更に進んだものがあし舟であるということは皆さんご承知だと思います。エジプトにおいて発掘された絵が一番古い花びんの中にそのあし舟が書いてあったところから、やはり当時これが使われたことがわかります。このあし舟の作りかたがこの発掘物の中から出ているのでわかりますけれども、これはエジプトのナイル川の近辺に行きますとバピスルという名前の葦が非常に多くはえております。これを束ねて舟を作って航海したということになります。最近のラー号の冒険はその実験をもう一回やり直したということで有名なものであります。まずその大きな業績は、ピラミッド建設の

時にすでにこの舟を使って1個300トン~400トン位の大きな石材をどんどん運んできたというようなことが記録されております。

紀元前の大きな航海といえますと、紀元前1500年にハトシェプストという女王様が紅海を東の方に出ましたところのガルドフィ岬から、アフリカの東をまわりましてもっと南へ行ったらソマリーランドではないかといわれているのですが、プントへ遠征していろいろの物を運んできている絵が現在残っております。これは非常に大きな帆船を使っておりますが、こうした状況で大昔から相当航海が行なわれた記録があるわけですが、昔の航海術とはどういうものであったのかと考えてみますと、まずエジプトのナイル川の中の航海は、川を渡る方法ですけれどもナイル川を渡った舟の古いものが現在掘り出されております。

ナイル川は南から北に流れています。我々はゆったりと流れている場面だけ見ていますが相当急流なところもあります。風が地中海気候といまして、地中海から大陸の方へすなわち北西から南東へ向って吹いているために帆舟になっています。この帆舟の帆は舟のへ先に一本のマストを立てて、そこに帆をはっているというやり方をしています。下る時は流れに従って下にいく、今度は北から南に行くのは上ることになるのですがこの時は帆を上げると、一番前で帆が風でひっぱられてどんどん進むというやり方を最初はしていたわけで、その当時はまだ帆をどういふふうに使えば風上にでも行けるというようなことはできなかったわけですが、今度はプントの方へ行ったらというときはどういふやり方をしたかといえますと、すべて当時は岸づたいの航海であります。現実に関を見ながら行かなければいけないので、これは皆さん

* 東京都江東区越中島2(2, Etchujima, Koto-ku, Tokyo)

が現代においてもコンパスも何ものなしでヨットにのったとしたら決して陸から離れないことはまちがえないと思います。陸が見えないところで平気でヨットをとばすというのは、冒険というより無茶でありましてできない相談ですが、彼らの航海術はほとんど岸づたいに陸を見ながらの航海であったわけです。

そういう場合にこの島とか山というものはどの位見えるのかといえますと、得た値を海里としますと $2.07 \times (\sqrt{h} + \sqrt{H})$, h は目の高さ(メートル), それから H は目標の高さ(メートル)になることは皆さんご承知だと思いますが、我々の目で見える距離というものは比較的近い所までしか見えないわけです。それで昔は何を使って航海したかという記録をたどってみますと、いろいろな島や山を使っているほかに雲を使っている、笠雲というようなものを使っているという記録があります。これは晴れた日に大島などを見ますと雲といっても大島の山の頂上の方には、何か白い雲が群がって動かないというような現象をよくご存知だと思います。気象学的に言うとこれはいわゆる断熱膨張によって気団が上へ吹きあげられて冷えて山の頭の上に雲が出て、これをまた速くから眺めたというようなことが記録に残っております。これはヘンリー航海王の記録の中に自分たちはそれで島を発見したということが載っているわけです。

ところでその他に鳥を利用してあります。目のとどかない沖の方へ行ってしまうと陸がわからなくなった場合は、陸の鳥をはなしたということが記録に載っております。これは皆さんがよくご存知のノアの箱舟の話でもおわかりだと思います。ノアの箱舟の話は、紀元前 3000 年頃にユフラテス付近に非常に大きな洪水がおきたということが考えられ、それが言い伝えになって話題になっているのであろうといわれており、旧約聖書の創世記の第 6 章に書いてあります。そのできごと自体相当古い話ですが、そのころに皆さんご承知のようにカラスを放なったり、ハトを放なったりした、そうしたらハトがオリーブの枝をくわえてもどってきたという話からハトやオリーブが平和の象徴になっているようではありますが、その当時の航海において陸を発見する方法を示唆するものと考えられるのであります。

この鳥を使った話は日本にも相当記録はあります。その記録は古事記や日本書紀にでているのです。古事記や日本書紀は最近の歴史家によっては、あれが全々虚構のものが多いといわれているのですが、我々がこの航海術から逆算して、あの中に出てくる航海のことをいろいろ見てみますと、相当うなずけるものがあるのであります。その中の一つに古事記には雨の鳥舟の神という記事があり、もう一つには雨のハト舟の神というふうなことが書

いてあります。これはタミカヅチの神に備えてつかわした雨の鳥舟の神というふうに出ておるのでありますが、この雨の鳥舟の神あるいは雨のハト舟の神ということについては本居宣長の解説によりますと鳥のように速い舟とかあるいは賀茂真淵の解説をみますと帆を上げた舟の形が鳥に似ているように書いてあるのですけれども、これは我々の先輩である斎藤浄元先生の説でございますが実はあれは鳥を使って水先案内をしたと解釈すべきであるという意見であります。私ももっともだと思っております。船乗りの水先案内には鳥を使って舟の進路を決めたというのは、陸の鳥は高く上りますと岡が見えるので岡の方へ飛んでいく、その方へ向って舟を向けていった帰ったのではないかと思われま。

日本の神話の時代に「雨の浮橋」とか「浮宝」というようなことがあります。これらはすべて舟であると解釈して読めばわかりやすいと思います。

またササノウノミコトが使用した埴舟というものがありますが、この埴舟の埴は埴輪の埴で泥でつくった舟というのは無理な解釈ではないかと思われま。粘土でつくった水瓶の瓶をいくつも並べて、そのうえに木をわたした舟であろうとか、板を張りあわせてけれど板の間から水が漏るので板の間に泥つまり粘土をつめて板の水が漏らないようにした舟であろうかということをお我々としては考えられるのであります。これは現実には現在でもこのようなものが使われております。たとえばクレークというのがチグリス川で現在使われておりますが、それらは今の瓶のようなものの代りに獣皮に空気をつめてこれを空気マクラのようにしていくつも縛りつけてその上に柳の枝をならべて、それでその舟をいかだにして使っているものが現に使われています。また一方においてはこの舟の水漏れを防ぐためにヤニをつめて水が漏らないようにしたわけです。今の旧約聖書をごらんになると例えばノアの箱のところを見ればヤニをつめるところが書いてあります。これは非常に参考になることで、水漏れにヤニをつめたこれはまあ今の日本で粘土でつめたものではないであろうかというようなことが我々としては考えられるわけでございます。

ヨーロッパでも日本でも同じですけれども、丸木舟というものが使われたのは当然であります。丸木舟を作るにはまず石を火で焼いてその焼いた石は舟につくる木の真中にいくつもおいてだんだん穴をあけたということが考えられております。古事記の中にも天之鳥舟(アメノトリブネ)というようなことが書かれておりますのでこれは桶でつくったクリ舟ではないかと思われま。

ヨーロッパの方で古い記録で何が残っているかという、皆さんご承知のトロヤ戦争を書いたホーマーの詩が

残っております。これは相当航海術のことが書いてあります。始めから終わりまでこれはホーマーの詩のうち特にユリシス別名オディッシオスに細かく航海の状況が書いてありますが、そこでは概略天文航法が使われております。どういう形で使われているかという星の高度をはかるということはおしておりませんが、星によって方向を知ることに使われております。

その他操船の仕方というようなものがこれにずっとのって非常に興味深いものであります。地中海沿岸ではフェニキア人が航海によって活躍しているわけですが、実はそのフェニキア人に関してのこともこのオディッシオスの中に入っているのです。フェニキア人は航海を好んだために、ほかから物をもって来て遠くの方で売っていたので今度は奴隷を運んだということがこの中に書いてあるために、フェニキア人は嘘つきだということが一般に言い伝えられています。それは紀元前613年頃にエジプトのファラオであるメロという王様がフェニキア人にアフリカを一周してみることを厳命し、それでやむをえず命ぜられたとおりのことを実行するのですが、3年かかってアフリカをまわったということが書いてあります。それをギリシャの歴史家ヘロドトスはフェニキア人は、嘘つきだからそう言ったに違いない、真昼の太陽を右手に見て航海する時期があったことを彼らは言うけれども、そのようなことはありえないわけですね。真昼の太陽を右手にみたというのは南緯地方にいて東から西へ航海したということになるのですが、ヘロドトスにはアフリカの南端をまわったという地理学的な知識がそこまで到達していませんでした。太陽の南へ行くことはありえないとして書いたのでしょうか、現実の問題として真昼の太陽を右手に見て航海したということはすなわち東から西へ航海したことになります。そして現実に記録としてはヘリキュッスの柱といわれていますが、ジブラルタルの間を通過して帰ってきています。東から行き西から帰ってきたことが実際に記録に残っているわけですが、彼らは紀元前においてもアフリカの南端もまわることができた点においては、現実に大きな航海を行っていることが証明されているのです。

トロヤ戦争のことは皆さん子供の頃から読んでおられるでしょうが、これで我々が非常に考えなければならないことは19世紀の歴史家はトロヤ戦争というものは歴史にはないと断定しているのです。という何の裏付けのないものを単に口伝えあるいは古い詩に書いてあるとあってそれは史実として認められないということで、トロヤ戦争を否定していたわけですね。ところが1822年から90年まで生きていたドイツのシュリーマンという人が、トロヤ戦争のあのホーマーの詩を読んでいてとても

現実感があって仕方がない、嘘だということはありませんと確信をもち一生彼はその発掘に捧げて小アジアの小都市のダーダネレス海峡、あの黒海の入口にヒスタリークという都市がありそこが当時のトロヤであるということだんだんにさぐっていき結論を下したわけでありませぬ。奥さんがギリシャ人であったために彼女も歴史が好きで2人でもってこのヒスタリークを掘り、発掘すると、始めはいくつかの遺跡らしいものが出てきたのでそれを発表したところ、ドイツの歴史家たちは彼はペテン師であるということで非難したわけですがシュリーマンは断固として私財をすべて投げうって掘りつくすわけですね。そしてついに金銀財宝が山と出てきました。それはトロヤ戦争のトロヤ領が攻めたてられ逃げるときにまにあわずに逃げ道に点々とおいたそのままの状態を上からものがくずれてきてかぶさったのだというふうには現在では解釈されていますが、まず第一に人間にとって信ずるに足るというのは金がたくさん出たからです。数カ月にしてシュリーマンは世界一の財産家になるわけですね。皆さんもギリシャに行かれましたらアテネ博物館に行かれますと、彼の掘った金がぎっしりと陳列されておりますし、現在でも紀元前の金がそのまままったく新しい状態で保存されています。結局彼の発掘からその戦争は史実であるというふうに解決されるようになったわけですね。

一方、北欧には文字になっていないものが民話としてずーっと伝えられてきていますが、これもやはり歴史ではないと解釈されていたのをまだ十数年前になるのですが、このサガに伝えられていたアメリカ大陸を発見したというバイキングの一派になるあのノルマン人たちが、コロンブスよりも500年前にアメリカ大陸を発見したということを行っています。その裏付けをアメリカで発掘して炭素の放射能によって年代が確かめられて事実であると証明されたという問題がございます。

日本の古事記や日本書紀はそうした裏付けがほとんどないものですから、やはり歴史家としてはあまり多くの信頼をそれにあてておりませぬ。しかし航海術の方においてどんな方法で航海したかという裏付けをあそこからも出すことはできないけれども、日本と中国の間あるいは朝鮮の間に非常に多くの航海がなされたということは、古事記や日本書紀が言われる以前から相当多くの行き来があったという証明だけが成り立つと思います。何もなければ語られていないわけですからそれらについて細かくお話しするには少々時間が足りないので割愛させていただきます。

航海の方法としてヨーロッパの方で我々が注目すべきことは、陸上に航海の目的のための施設をつくったという記録があり、また現物はいくつか残っていることであ

ります。ファロースの塔というのは昨年海上保安庁が灯台百年祭をやりました時に出ておりましたけれども、紀元前 280 年にアレキサンドリアの港へ入る入口に塔をたてて、そこにあかりを持ってきてアレキサンドリア港に入ってくるのに役立つように好目標を作ったということが記録に載っているわけです。そのファロースという言葉は日本語では通じませんが、ドイツ語でもフランス語でもあるいはイタリア語、スペイン語、ポルトガル、オランダ語それからもちろん英語でも pharos という字を引きますとすべて燈台というふうに書いてあり、世界共通語のファロースというのが燈台のもとになっています。それがすでに紀元前 280 年にできていたということでもあります。

皆さんご承知のこの世界の 7 不思議というものがありますが、その中で例えばダイアナ寺院というのが航海の目標のための巨大な建造物であったことは注目に値すると思われまふ。どのようにしてなされたかといいますが、昔のやり方は寺院を建てておきそこに明りをあげて神様を祭ります。そのあかりは神のあかりであるから絶対に信者が消さないわけです。ところがその守られたあかりは作る人がそこまで考えておいたわけですが、沖から見て目標になりそれが燈台のもととなったのです。

日本においては、例えば筑紫に飛ぶ火という施設を天智天皇の 664 年に作ったということがあります。これは火が飛ぶというふうにかかれたけれども、後に昼間もこれを目標にするため煙をよけいに出すよう木や草を

燃して煙を出したのですが、そのうちに記録によりますとオオカミのフンを混ぜると煙がよけいに出るということが発見されたそうで、オオカミのフンを混ぜたということからオオカミの煙と書いてのろし（狼煙）というようになり、それが目標となったといわれております。万葉集によると「みおつくし」という言葉が出ておりますが、「みお」というのは水の深い所ということでそこに木を立てておいてこれを見お木といいました。これが当然航路標識の始まりというふうに我々は考えていいのではないかと思います。「みおつ申」の意味です。

当然航海術の歴史を論ずるには内容的には話題は非常に豊富であります、時間は 40 分という制限ですので私が担当したのは全体をお話するわけにはいきませんので、非常に制限された古代における航海の模様あるいは知識の一部に触れてみたわけであります。当然日本を話をすれば、遣隋使・遣唐使の話などもしなければならぬわけですが、遣隋使・遣唐使は北西の季節風や黒潮を利用しておりましたが、航海の技術としては最初はほとんど技術もなしに度胸一つで始まって海難の続出でした。ところが終りになるとだんだんと黒潮の存在を知ったり、冬の北西風の利用をしたりして少しは上達してくるわけですが、このような話まで及びますと時間がとても足りませんので私の話は一応この辺でとどめて終了させていただきたいと思ひます。

(文責・編集者)

会 告

事務局の移転について

電波航法研究会の事務局は昭和48年1日末に下記のとおり移転いたしました。

旧 東京都千代田区霞ヶ関1丁目2番1号
海上保安庁燈台部電波標識課内

新 東京都千代田区霞ヶ関2丁目1番3号
(建設省・運輸省ビル9階)
海上保安庁燈台部電波標識課内

航空航法の現状と将来

工学院大学学長* 岡田 実

Present Status and Future Prospect of Aerial Navigation

Kogakuin University*

Minoru OKADA

私の与えられました課題は、「航空航法の現状と将来」であります。私の関係してまいりましたのは主として民間航空に関係したことからでございますから、したがってそういう範囲になりますし、また私自身の立場がずっと研究ということに従事して今日いたっておりますので、研究者の立場から考えたということになります。それからもう一つお断りしたいのは、現状と将来というお話なのですけれども、今までのことをふりかえてみないと現状が出てこないし、それらをふまえて将来が出てくるということでございますので、やはり過去のこと簡単にふれさせていただくということをお願いしたいと思います。

それからこれからのお話にはみなさま方から見て特に新しいことはないと思いますが、みなさまがよく知っておられる事柄を、一応私なりに整理してみたという意味におとりいただいて、それからなお充分な準備をする時間がございませんでしたので、はなはだ不備であるという点もごかんべん願いたいと思います。

こうやって一応表にしてみましたが大抵まだ足りない所が多くありますので、多少追加してお話しできたらと思うわけですが、時間の関係上あるいはそこまでは行かないかと思いますが、ごようしゃ頂きたいと思えます。

過去、現在、それから将来、そういうような分け方をしました場合、私は過去と現在の境を1945年頃といたしました。これは戦争が終ってからとその以前というわけです。それから現在と将来との境目を一応1975年あたりに引いてみたわけでございます。ですから現在はかなりこの将来に近い方の現在に私たちは生きているということになります。さて最初に私たちが研究を初めました時の研究対象も航空機を安全に飛ばすということでは今日と相異ありませんが、安全に航空ができるようにすること、そのための装置を生み出すこと、それからそ

の装置を実用できるものにする、ということから始まるわけです。そしてその後東京、大阪間に定期航空が開始されるようになりますと、定期航空に対して定期制あるいは定時制を与えるということが必要になってまいりますし、それから経済性というようなものが必要になってくるわけです。この要求は過去から現在、将来というふうに行くに従いまして、ますます強くなっていくわけで、そういう要求に合致したものが研究対象に当然なってきたわけでございます。

最初まず過去の研究の目標でございますが、最初は単機を対象とすればよかったわけです。航空機一機相手にいたしまして、その航空機が安全にある所からある所へ飛べればよろしいと、そういうことであつたわけです。それが現在ではご承知のように非常に多数の航空機ということになって来ておりますし、それから非常に種類がふえてきております。将来はその種類がますます多くなりいろんな形態の航空機というものを考えなければいけない、多数、多様機ということになっていくわけでございます。

先に述べましたように定期航空がはじまりますとエンルートについての航法が先ず確立されなければなりません。表の中のエンルート航法の欄で過去と書いてありますところに路（飛行方向）と書きましたが、これは航空機の飛びます方向、つまりどっちの方向に行けば目的地へ着くかということを示すということでございまして、そのために最初にアメリカで開発しましたのが現在ラジオレンジといわれておりますもので当時はこれをAN式の無線標識、あるいはラジオビーコンと言っておりました。それと一方では航空機の上に方向探知器をのせまして、そしてこれを使うということも試みられ、それを自動化し、さらに小型化するというようなことで、今日のADFの基が作られたわけです。

日本でも幾局かのラジオレンジが作られました。ラ

* 東京都新宿区西新宿 1-24-2 (24-2, 1-chome, Nishi-shinjuku Shinjuku-ku Tokyo)

研究者の立場から見た航空航法の過去、現在、未来

	過 去	1945 現 在	1975 未 来
対象機数	単 機	多 数 機	多 数・多 様 機
エンルート航法	路 (飛行方向) ・ Radio Range ・ ADF ↓ 全方向式ラジオビーコン (オムニレンジ) の開発	路 (方向, 距離, 予定時刻等) ・ VOR → VOR-DME or VORTAC ・ Self-contained nav aids Doppler INS	1. Area Navigation ・ 地上援助施設および機上装置の精度向上 ・ 新方式の開発 2. Self-contained nav aids の精度向上 3. 操縦系統との一体化 (自動化) 4. 衛星の利用
着陸・離陸	目視による着陸援助施設	計器着陸援助施設 ・ ILS cat. I→II ・ 新方式の開発 (Doppler system AILS 等)	計器着陸援助施設 ・ ILS cat. III A→B ・ 一層有効な新方式の開発と実用
衝突防止		1. ATC→自動化への進展 2. CAS の開発	1. ATC system の改善 (自動化, データリンク) 2. CAS の実用と改善 3. 前記二項目の発展による操縦系統との一体化
空港面上の移動	目 視	1. 目 視 2. ASDE	新方式の開発と実用
通 信	1. 固定局間 ・ 短波電信 2. 地対空 ・ 短波電信→電話	1. 固定局間 ・ 短波電信 (テレタイプ) 2. 地対空 ・ VHF 電話	1. 固定局間, 衛星利用 (マイクロ波以上) 2. 地対空, 衛星利用 (VHF→マイクロ波以上) 3. データーリンクの大幅な利用ディジタル通信の利用とその拡大
気象関係	雷雲の探知 ・ ADF	1. 雷雲の探知 ・ 機上レーダー 2. CAT 探知の研究	1. 雷雲の探知 ・ 機上レーダーの改良 2. CAT 探知方式の実用
公害関係		問題となる対策の研究と一部実施	対策の実施

ジオレンジは非常に制限された装置でございまして、路が4つまでは理論的にはできるのですけれども本当に使えるのはその中の1本か2本でして、しかもその路をはずれると今度はそこへもどってこないと利用できませんので、途中に雲でもあって避けましたりいたしますとはなはだ使いにくいものであるわけです。しかしとにかく路が与えられるということで非常に役に立ったと思えますが、それがさらにそういうような少数の定まった方向だけでなく、局からどの方向にいても、その局からの

方位がわかるようなものにしていうのでいわれるオムニレンジ (全方向式ラジオビーコンとっておりましたが、今のことばでいえばオムニレンジです) を発明し開発することになったわけでございます。

当時のオムニレンジはラジオレンジの周波数帯を使用しましたがどうやらやと鳥取県米子市外に実験局を作り航空機による実験まで行った所で戦争になって中止されることになったのであります。このオムニレンジは日本で私たちがやりましたと同じようにちょうど戦争の時期

になって他の国の様子はわかりませんでしたけれども、オーストラリアあたりの人たちも同じような線でやっていて、そしてこれが表の現在の所に書いてあります VOR (VHF のオムニレンジ) という形でアメリカが中心になりまして、そして国際標準の短距離航法装置として発達してくることになるわけですが、このエンルートの現在はどうかというと、単なる路でなくて従ってそのような装置を使って方向と距離とそれから予定の時間、どこに何時何分に着くかという予定時間とを出せるようなところまで進んできております。

VOR にはその後、距離の測定ができるように質問信号を航空機から出しまして、地上から送り帰してそしてその帰ってきた時間、往復時間を測ることによって距離を出すという DME (Distance Measurement Equipment) が複合されて使われるというのが normal な施設となりました。また一方 VOR よりももう少し周波数の高い 1,000 メガサイクルのオーダーのパルス波を使いました TACAN という装置がございますが、これは車用に関係されたものですが、この TACAN にはやはり DME がございまして、この TACAN の DME を VOR に組み合わせたのが VOR-DME というわけですが、このような VOR-DME かあるいは VORTAC といまして VOR と TACAN とをいっしょに一局に組み込んだシステムが短距離航法装置として現在使われているわけでございます。

それからこの表の現在という期間に非常に発達してまいりましたのが自立航法装置 (self-contained nav aids) でございますが、ADF もその一つでございますが、これでは精度が足りないということからいろいろ航空機の上で地上設備を使わない設備が開発されてまいりました。たとえば Doppler Navigator あるいは Inertial Navigation System (INS)、このようなものが現在実用にされてきておるわけでございます。

このエンルートの将来はどうなるだろうかと言いますと、現在のところは一応路ということで、飛び方としましては VOR の局をつたっていくというのが normal な飛び方とされておるわけですが、段々に航空機の数が増えますしそれからいろいろな条件で必ずしもそういう局から局へ渡っていくという島づたいの飛び方は非常に不経済だということで、いわゆる平行の air way を作ることもできるし、また機上に電子計算機を搭載して VOR-DME などと組合せて使いますと任意にコースを選んで飛ぶこともできるようになりますので、空中をフリーに飛べるような navigation system (area navigation system) というのが将来のといってもすでもう一部始まっているわけですが、将来は一層そういう方向に進んでいくこ

とになるでしょうから、このような装置がどんどん開発されていくものになっていくことでありましょう。

area navigation をやるとしますと、現在の VOR-DME ではまだちょっと精度が足りないようですからこの VOR のシステムの改良が進められておりますし、また VOR-DME にかわるような新方式というものが将来考えられてくるものと思います。それにとまって、機上装置の方も当然精度の向上が要求されてくることになります。area navigation の場合には機上装置にはエアボーン・コンピューターシステムがこれにはいてるわけでございますが、その方の改良も進められております。

それから self-contained nav aids にいたしましてもその精度をもっと上げなければならないし、上がってくるにちがいないわけですが、ドブラ方式をご承知のように非常に静かな水面では信号が帰ってこないということで、大洋を飛びます航空機などで相当長い間無反射、無信号の状態がおこるといふ欠点があるのですけれども、これなども、これは私なりの考えですけれども、やり方によってまだまだこの無信号状態を避けるやり方も考えられるというふうに考えております。なお一方 INS が非常に進歩してまいりましたので、これらを hybrid に使いますドブラ方式のほうは ground speed といいますが、対地速度が出てまいりますし、INS の方は加速度が出てくる、こういう特徴がございますからこれを組み合わせて使うということは非常に精度の高いシステムになってくるわけですが、なにもまだドブラ方式に限らない新しい方式もまた出てくるだろうと思えます。そしてこういうものが組み合わせられて、操縦系統と一体化されてエンルートを飛びますときには、後から出てまいります衝突防止の装置なども将来は組み合わせられると思えますが、殆んど操縦が機械で行なわれるようになってまいりました。

それからなお、この後のお話に予定されていることですけれども衛星の利用が新しい課題でございます。通信にだけでなく航法に対する衛星の利用という面もこれから進められると思えます。ただ船の方がおそらく先になると思えます。航空機の方は航法に衛星を使うという面ではなかなかいろいろな問題がございますので、かなり船の方からみたらおくれるのではないかとこのように考えます。

次に着陸と離陸の問題でございますが、過去はもちろん目視による着陸でございますが、目視によって降りてまいります以上は光学的な着陸援助施設が最初の設備であるわけです。もちろん進入に ADF を使うという方法は昔からある程度行なわれておりました。しかし目視

による施設を使うというのが中心であったわけですから、天気が悪く視界が悪いときに着陸をするわけにはいきませんので、なんとかしようというので ILS の開発が行なわれたわけです。実際には過去の所にも ILS の development は本当は書いておかなければいけない、ぬけておりますけれども、今日の ILS と同じ原理のものは私なども昭和の 10 年位に発表しております、超短波が使えるようになったとき超短波で一応やってみたのですけれどもやはりかなり低い所にコースをセットして安定するという技術に欠けておまして、そういう点で実際に飛行実験をやるまでにはならなくて地上の試験をしたに止まりました。その後いろんな国で同じような考え方でやっておりましたものが米国で実をむすび現在国際標準として完成された形で使われているわけです。

ILS の category I とか II とかっていうのは飛行機の上から地面がどの位の高さから見えるか、それから前方はどの位の距離まで見えるかということで決まるわけで番号が多い程それが低高度まで使える、それから雲の多いときまで使えるということであるわけですが、日本の ILS はだいたい category I で働かせておりますけれども、羽田の ILS は国際空港である以上 category II にしなければならぬ状態になっております。

category I は高度 200 フィートまで、それから category II が 100 フィートまで、category III A が 50 フィートまで進入可能ということなのです。これを更にすすめて高度 0、視界 0 まで計器着陸ができるようにしようと努力が続けられているわけです。

このような ILS の改良の外に新方式の開発も進められていますが、これは今あります ILS が VHF の範囲を使っているわけでありますから反射等の影響で着陸コースが直線にならない、また精度もそういう意味で下がってくるということ、それからなお航空機の種類によっては必ずしも現在 ILS で作っている 2.5° とか 3° とかいうスロープでもっておいてくるという必要がなく、そのためにもっと角度の高い所からおりてくることのできるものが要求されてきていますし、それから ILS ではローカライズという方向の指示を与えるビームと垂直面内のパスを示すグライトパスのビームとがあるわけですが、そういうようなものでパスを定めておいてまいりますときにはかなり長い距離そのパスをフォローしてはじめて安全に着陸ができることとなりますが、それが例えば騒音公害を市街地から遠ざけるためにもっと短い距離の所からまわりこんで入ってきても完全におりられるようなものができたらというようにいろんな新しい航空機のオペレーションに対する要求が段々出てきておりますので、そういう面で新方式の開発が活発に行なわれ

てきております。

この新方式にはアメリカでやっております AILS ですか、あるいはイギリスの電波の doppler 現象を使ったシステムだとか、その他コリレーションをとるようなシステムだとかいろいろの方式が考えられております。

現在は VHF とか UHF とかいうような周波数帯を使っているわけですが、将来はあるいは今のような要求を満足するために現在新しく研究されてますように、マイクロ波あるいはマイクロ波以上の周波数帯を使うようなシステムにかわってくるのではないかとこのように思われます。ただ航空関係は、船でも同じだと思えますが、今まで非常に多くの投資をして航行機の方の設備も地上の設備も今の国際標準の装置をしているわけで、これを新しい方式におきかえます場合には非常に大事なこととして今までの方式とコンパティビリティがなければならないわけで、ある期間どうしても今までの方式との共用ということが必要となります。

マイクロ波を使うとしてもいっぺんにマイクロ波に行くのではなくて今の ILS の装置にある unit を付加してそして使えるというようなものが望ましいというふうに考えられるわけです。しかしそれがそういうような形で完成できるかどうかはこれからの問題だと思えます。

次は衝突防止の問題ですが、これはご承知のように過去の時代には航空機同士の衝突というのはほとんど心配しないで飛んで空は広がったわけです。せいぜい用心しなければならぬ衝突の相手は山だったわけです。そういうことで私達は航空機同士の衝突防止ということはあまり研究対象としていなかったのですが、戦後航空機の数が非常にふえてまいりましてなんとか衝突防止をしなくてはならないということになっていろいろ衝突防止のやり方について研究が行なわれるようになりました。たとえば遠くから航空機がよく見えるように航空機に何か特別な色をつけたらどうかということから始めて、レーダで他機を見つけたらそれで衝突防止ができないとか、いろいろさまざまな提案があり研究が行なわれたのですけれども航空機の上の装置だけで衝突を防ぐということの非常にむずかしいということがかえって明らかになるという仕末でした。

しかし、そうかといってほっておけない事柄ですので、地上から交通整理をして衝突を防止しようということとなって、いわゆる Air Traffic Control (ATC) のシステムを各国が本格的に実行するようになりました。そしてこの Air Traffic Control System もだんだんにコンピュータシステムを入れて controller の work load を減らしていくというような方向に進められておりますし、またレーダを使ってのコントロールということに進

んできているわけでございます。

それでもときどきこの Air Traffic Control のシステムをはみでまして航空機同志が非常に接近して危険な状態がおこったり、あるいは衝突がおこったりしていることはご承知のとおりでございますが、そのため Air Traffic Control システムの補助として航空機の上で航空機自身が衝突を防止する手段はないかという研究も引続き、熱心に行われてきておるわけです。そして現在のところ有望であろうということで進められておりますのがいわゆる time-frequency 方式というやり方で、これは collision avoidance system の代表的なものとして CAS という名前で呼ばれておりますが、そのようなものの開発が進められておりますし、またごく最近には東京で説明会がございましたが RCA で開発中のセカントというシステムもあります。これは interrogator-transponder で衝突防止をやるという方式の一つでございます。

CAS につきましては、ご承知のようになりに複雑なシステムでございますのでこれは何段階かにこれを分けまして、そしてまず第一に航空機の接近の警告を出すというようなところからスタートして、そして自動的に回避するというところまでこれを進めていくことになると思われます。将来は従って CAS の実用とそれからさらに実用しながらの改善というものが行なわれるというふうに考えます。またこの表の左側の CAS も右側の CAS も今お話ししました現在 develop されているものがそのままの形で実現されるかどうかということはこれからも問題であるわけで、あるいはもう少しかわったものになってくるかもしれません。

それから Air Traffic Control の方式につきましてももっともそのシステムを改善していくことが進められることと思います。自動化それからいろんな Air Traffic Control のための通信に必要なデータの data link、あるいはレーダ情報の伝送と処理等々。この Air Traffic Control の仕事というものがもう少し楽にできるようなシステムになっていこうというふうに考えられるわけです。それからそういうものが全部進んでいきますと、当然さきほど申し上げましたように操縦系統との一体化ということが更に高度化されまして、そしてエンルートだけでなく着陸のところまでずっと操縦が自動化されてくる可能性があるわけです。そういう方向に研究がつけられていくものと考えます。

それからついでに書いておきましたのですが、現在のところ目視あるいはせいぜい ASDE, Airport Surface Detection Equipment (空港の地表面を見るためのミリメートル・レーダ) で、地上の航空機その他飛行場中の地上を動くものの監視をしてそして航空機の地上誘導をして

いるわけですが、航空機の安全かつ迅速なタキシーイングの問題が段々にクローズアップしてまいっております。そして特に着陸の頻度が高くなりなるべくたくさんの航空機をおろしたい、一定の時間にできるだけ多くの航空機をさばきたいということになりますと、滑走路上に降りました航空機がすぐにその滑走路からロールアウトして、そして目的のお客様のおりあるいは貨物をおろす場所まで移動しなければならないというわけですが、着陸援助装置の方はどんどん進んでもうほとんど目視がいらぬような状態にかりになったとしても、こっちは進んでいませんとおりました航空機は盲目になってしまうわけで、そういうことからうしても新しい方式でタキシーイングの問題を解決しなければならない、将来の一つの課題になっているわけでございます。

それから航空にはやはり通信がいろいろ大事な役割をもっていることは申すまでもないことで、航法といえども通信に頼らざるをえない部分があるわけでありまして航空に関する通信のことをちょっと表に書き添えておきました。最初は固定局間が短波の電信、それから航空機と地上間は中波を使いました。表には短波と書いてありますが中波を最初使っておりまして、後に中波の電信から電話にしようということで電話にするような努力がなされたわけですが、その後遠距離通信には短波の電信を使うようになり、戦後は近距離通信には超短波の電話を使うこととなりましたし、遠距離の固定局間では現在短波のテレタイプ電信を使用しております。航空機と地上間に超短波が使われるようになったのは、中波や短波より VHF の方がずっと雑音が少なくて通信が楽に行なわれるということからでございます。それから電信から電話になったのは通信の便利さからと特殊技能の不要なことから当然の成り行きであったわけです。軍用の場合に VHF ではでなく UHF を使います。今後はさらにこういうような通信の中で特に音声で通信しないですむものには data link とかあるいはデジタル通信とかいわれるようなものにおきかえられていくことになると思います。おそらくはもう emergency の通信以外は data link の方へ移って行って通信能率をあげることになるだろうというふうに考えております。

それからちょっと持ち時間がすぎましたのでもう終わりますが、関係ある事項といたしまして雷雲の探知というのがございます。戦前は ADF を使しまして、そしてあるいは通信用の中波の受信機で受けまして、雑音が出てくると雷雲に近づいたということで雲を避けるということが一つのやり方だったわけですが、最近ではウェザレーダを航空機につけて雷雲を避けるようになっております。ところが、新しく問題になって研究されてい

ますことに clear air turbulence (CAT) といって晴天の場合に全然雲も何もない所に極端にはげしい乱流が発生し、その強さは大型の航空機をも瞬間に破かいするくらいのものでして、数年前の BOAC の事故がその例でありますけれども、その CAT を事前に探知する方法、これが今一生懸命になって研究されていることの一つでございます。しかしまだ決め手がでておりません。しかし将来どうしてもそういうような探知方式が確立されて実用されるようにならなければなりません。こういうふうに感ずるわけでございます。

最近またこういうような事柄に加えていわずの公害問題がさかんに出てまいりまして、特に飛行場付近における騒音の問題、それから排気ガスによる空気の汚染とかいろいろの問題が出てきております。これはこれから航空事業が発達するにつれて非常に大きな問題になっ

てくるだろうと思われるわけですが、これはもう音を出さないのがなによりですけれども、この方面の研究はそちらの専門の方でやっていただくとして、音が仮りに多少出てもそれがあまり付近の住民の方に妨害にならないようになるべくそういう影響を受けない着陸路ができるようなものをもって行かなければならないということになりますと、そういう場合にも役に立つような着陸援助施設や装置の開発も急いで行なわなければならない一つの研究課題になってきておるわけでございます。

以上時間も過ぎましたので終わりたいと思いますが、こんなような雑ばくなお話でまことに申し訳れございませんでしたけれども、私なりにみなさんのよく知っておられることを整理してみたということに止まるわけでございます。どうぞ静聴ありがとうございました。

海洋航海の懐古

日本船長協会* 篠田 不可止

Recollection of Ocean Navigation

Japan Captains' Association*

Fukashi SHINODA

私、ご紹介頂きました船長協会の篠田でございます。私が戦後はじめてレーダやロランなどの電波計器を積みまして航海に出ましたのは、ちょうど20年前で、昭和26年の春、北米航路が再開された当時、商船会社の第2番船あふりか丸で、私は一等航海士として来船いたしました。それが私の電波航海のはじまりで、その直後電波航海研究会が発足したのですが、私はその20年前を偲んで感激を新たにしているわけです。この20年間にわが国の電子技術は著るしい進歩をし、航海計器の革命的な発達に伴ない、航海術も新たな航法としてここに進歩発達してきたわけで、航海術の歴史については、先刻茂在教授から航海学者の立場でお話があったようですから、私は航海者、船乗りの立場で、私の過去の経験から、電波航海時代とそれ以前の航海の苦労についてお話ししてみたいと思います。

まず私の海上歴を申しておきますが、昭和12年に越中島の商船学校を出てすぐ海軍に召し、軽巡洋艦名取の航海士兼見張士として勤務し、上海事変に参加いたしました。1年で商船に帰り、4年間暮らし、16年から20年まで、第2次大戦で再度海軍に召し、その後昭和26年から商船のほうに帰りました。

この間、戦前、戦中、戦後を通じ海軍と商船でずっと海を駆けまわったわけです。卒業してからの34年間のうちの20年が電波航海時代で、その前の14年が電波航海のなかった時代です。私はここでその電波航海のなかったときにどんな航海をしたかということ思い出の中から話をまとめたいと考えます。

今の電波航海時代の若い人々には昔ばなしは夢物語のように感じられるかもしれませんが、このような機会に昔の航海の苦労をお話することも、ある程度興味のあることと思います。丁度私の若い時代に聞いた昔の帆船時代、蒸気船時代の航海の話と同じように、今考える

とこの電波航海時代は、有難い計器さまざまという気持です。海軍時代の30余年前に当時アメリカでは電波兵器が完成しており、開戦当時、真珠湾にはレーダが索敵用として備えられていたということで、その後この電波兵器が活用され、日本海軍の最も特技とする夜襲や切込み戦法が事前に米軍に電波兵器でとられ、反撃をくって敗退したというケースがいくらかあり、いわゆる奇襲も秘密行動も作戦はこの兵器のまえに効を奏しなかったということです。例えば夜陰に乗じての商船の船団護衛で、煙を出さない、無灯航海、ジグザグ航行などいろいろ苦労をしても結局レーダで見つかり攻撃をうけむざむざ潜水艦の餌じきとなり、輸送路断たれて補給が出来ず、洋上の基地は孤立状態となり、じり貧でだんだん押されていったように、結局は電波兵器のある、なしで勝負が決ったのではないかと思います。

私の先輩で駆潜艇の艇長の話ですが、北方の島、キスカの補給や最後の撤退作戦のときなど、霧中を利用してキスカ湾に近づくと、霧の中から砲弾がくるがこちらはどちら向いて反撃してよいかかわらず、電探射撃の前に手も足も出ず、これでは喧嘩にならないとこぼしていました。考えてみればこの電波兵器のためどれだけ多くの商船と勇敢な船員が海底に葬り去られたことか、その怨みの兵器も、今は平和の海になくてならない重要な有難い航海計器として利用されていることを思うと悲惨な戦争の高価な代償ともいえるのではないのでしょうか。

航海で船位の測定が昔と今ではどう違うかについて触れてみたいと思いますが、まず航法には、天文航法、地文航法、推測航法あるいは電波航法などがあります。どの航法にしても、その出発点で船位を確認し、それを基点として針路を決めていくという原理は今も昔も同じだと思います。その船位を求めることについて航海者が如何に長い時間と、多くの労力をかけてきたか計りしれな

* 東京都港区2丁目16番1号 ニュー新橋ビル
No. 16-1, 2-chome, Shinbashi, Minato-ku, Tokyo

いことで、私自身も十分にそれを体験してきました。

ここで例えば沿岸や大洋航海の今昔を比べてみますと昔は視界が悪くなれば目が効かない。見えないので耳をつかって他船や灯台などの霧信号を聞く、いわゆる耳を働かす手さぐり航海とでも申しますか。今は電波計器の発達で航法も大きく変わり、船位も他船や自分の周囲の状況も判り、船の運航は昔と今では、めくらとめあきの違いともいえるでしょう。今の航海では、暗夜でも、霧中でも、しけの中でも、あるいは沿岸でも大洋でも、どんな気象条件のもとにおいても常に自分の位置が確認できるので、全く安心であり、これはレーダ、ロラン、デッキといった船位測定用の電波計器の利用ができるというわれわれ航海者にとっての有難い福音があるからです。

電波航法のはじめの頃は計器さまざまで、船橋の神棚にお参りする時には同時に電波計器にも手を合わせる気持になったものです。自分の若い士官時代には当時の船長の苦勞をいろいろ見ておりましたが、私自身は昭和29年に船長になりましたので、このような計器の利用ができたわけで、その点全くめぐまれていたと思います。

電波航法以前の太平洋航海を考えてみますと、例えば横浜からロスアンゼルスに向う場合、東京湾を出たところで、船の位置を確認したうへ、最短距離の大圏コースをとるか南へ下って静かな海を通るか、あるいはその中間位を通るかなど、そのときの季節や気象海象など、天候状態や船の積荷のコンディションなどによって針路は決めますが、視界がよくて水平線も天体もはっきりしておれば、朝昼夕、天体観測で船の位置は求められ不安なく航海が続けられるわけで、いわば天候は三度の食事同様に航海士の最も大事な仕事ということです。ところが天候悪く視界不良となると天測が出来ない、船の位置が出ない。そして何日もそれが続けば、推測位置による航海となり、とくに大陸に接近する前の数日間がこの推測航法による場合は、陸地発見までが不安で、発見してもその位置がどこであるかを確認したうへで沿岸航法にうつることになるわけです。陸にとりつくまでが色々と苦勞があるわけですが、電波航法がはじまってからは、天測不能のときでもロランで位置が求められ、さらに今では、レーダの感度もよくなり 40~50 海里位から陸地をつかみ位置の確認が容易になって気分的には昔と比べものになりません。

帰路、横浜へ向う航海では、昔は金華山、犬吠崎、野島崎といった灯台めあてに航行し、発見したら位置を決め沿岸航法にうつって南下したのですが、視界さえよければ特に苦勞もありませんが、日本沿岸付近にきて視界が悪く、しかも陸地接近 2~3 日前から天測できず位

置が確認されないときは、海水温度を常に測定して船がいつ黒潮帯にはいるかを知るわけです。刻々に海水温度を測っているうち温度が急に上昇し、暖流にはいったことを知ることは大事なことです。黒潮は季節によってその海流の幅が沿岸近く通る場合もあれば遠く離れて流れるときもあります。兎に角この海流の中にはいればよい陸岸に近づいたことが判り、それが霧のなかであれば、船の位置がどこであるかをさがすのに神経をつかうわけです。どのくらい潮で北方に流されているかその位置をつかむのがまた一苦勞です。

これがレーダ時代になると沿岸に接近し、視界が不良で陸が見えなくてもレーダで船の位置はつかめるし、また沿岸も湾口付近も通航船舶の状況がよくわかって、運航上気分はどれだけ楽であるかわりません。

他船の霧中信号に注意しながら、霧を透して見張り、自分の船の位置に不安を感じながら運航した昔の航海とは、とうてい比較にならないものです。レーダ使用以前は海難の一步手前で、はらはらしたことが何度あったか知れません。

私の印象に残っている過去の例を 2, 3 挙げてみますと、私が三等航海士で、士官になりたての頃、フィリピン航路に乗船していましたが、南方の海は静かで夜空はきれいだし、空気は澄んでおり水平線ははっきりしていることが多いのでよく夜中に天測をやりました。3~4 個の星を観測して位置を出すのが普通ですが、ある晩雲で星が 2 個しかとれず、しかもほぼ同方向のため交叉角が小さかったのでわずかな測定誤差でも位置は大きく違ってくることになるわけです。「位置はどこか、大丈夫だろうな、サードオフィサー」と船長に聞かれて、「ハイ、大丈夫です」と答えたものの内心不安でした。というのは、船長はその位置からずうつと次のコースを海図に記入して、さらに次の予定コースも決められた。島々や暗礁の多いフィリピンの内海で刻々に変わる船位を正確にだすことは航海士の大事な仕事であり、航行の安全が自分の天測一つにかかっていることを考えたとき、新しい航海士で自信ありげに答えたことが妙に不安で当直交代して部屋にもどったものの寝つかれない。あの位置に誤差はないかどうか、船長も交代したセカンドも、私の位置をそのまま信じている。観測時の状況を交代引つぎの際はつきりいっておけばよかったと、あれやこれや気をつけて不安の一夜を明かしました。朝方当直交代で船橋にあでって行くと、チーフから「サードオフィサー、本船は潮で随分流されたらしい、危うくリーフによせつけられるところだったよ、じゃ気をつけてやってくれよ」という引つぎであった。内心ほっとしたものの絶対いいかげんのひきつぎはいけないと痛感しました。六

分儀とクロノメーターでお天気を頼りなから船位を求めている頃の苦勞も、今では、レーダや罗兰で船位確認しながら次々と不安なく針路も変えて行ける時代となつて、電波計器の活用に満足感を味わっています。

また同じ頃のことですが、東京湾に入ろうとしたときのこと、ある霧深い冬の夜でしたが、船は内房総にそつて湾内に進行しておりました。館山沖で錨要員も船首にスタンドバイし、他船の霧中信号に注意しながら微速力で静かに進んでいたところ、船長はどうも本船の位置がおかしい、岸に寄り過ぎているようだといつて直ちに測深用意を令しました。今では使用することはありませんが、レッド(測鉛)を振り込んで水深を測りはじめたのです。測深係りの操舵手から15米・13米と刻々の水深を知らせてきておりましたが、突然、右舷前方に汽車の汽笛と「シュッ、シュッ」という汽車の動き出す音を聞きました。陸が近い、近くに駅がある、磯の臭いがする。突差に何か接した危険を感じました。船長はすぐ投錨を令し、停泊後直ちにどこの沖合か、海図に当って推測位置とのチェックをして概略錨地の見当をつけました。

夜半すぎ霧がはれてみると、なんと、浮島がすぐ目の前で、乗り揚げ寸前だったということです。

船の行足を止めレッドを振り込んで水深を測ることは恰も盲人の杖といった感じですが、今ならエコーサウンダーとレーダで何の苦勞もない場面ですが、あの時は、汽車の汽笛と磯の臭が危険を知らせてくれたというわけです。当時は一番のしが手は霧で、霧中ともなれば、視覚、聴覚、臭覚など全神経をつかって航海したわけですから心身の疲れは大変なものでした。

霧中の航海中おこつた事故としては、士官仲間の話ですが、夜間香港付近の航海で、この辺ジャンクが多く、中には海賊行為のジャンクもいたそうですが、注意しながら航行していたところ、夜明け前船首の方でパタパタと何か白っぽいものが風にあふられているので操舵手を見にやつたところ、大きなジャンクの帆が船首にひっかかっていたという。多分どこかで無灯のジャンクに当たつたのだらうということで、当てたほうは全然知らず、当てられた方こそとんだ災難ということで、これもレーダのない時代の当て逃げ事件の1例ということで、結局うやむやに終つたことでした。

また私が、ある士官の後任として神戸ドック中の船に来船したときのことですが、その船は、明石海峡東口付近で霧のため座州したため損傷個所の修理中だったので。その海難というのは、夜半過ぎ神戸出帆して瀬戸内海へ向っているとき、視界不良の中を航海続けているうち、潮流のため針路を誤り、岩屋の海岸に乗り揚げたものです。遠浅で砂浜の松林海岸であつたため、見張員

が前方に何か黒いものが見えますと報告してきた時には、もう船の行足は止まり、船首に松の木が立っていたそうです。音響測深儀やレーダがあつたらなと思ひながら当時を偲び、こんな事故で責任上、やめていった人達が気の毒にさえ感じられます。

若い航海士の頃、沿岸や港湾、瀬戸内海など、霧中航海で常に私が感じましたことは、見えなくて歩くことほど不安なことはないということで、航海士もさること乍ら船長の苦勞はこの目でつくづく見てまいりました。もちろん、船長はある程度冒険と思われるときでも万全を期して運航するわけですが、それには長年の経験とカン、それに適確な判断と腹が必要でしょう。昔、最大の願ひだったのは、何とか霧を透して見えるものが発明されないのか、霧を透視することの出来るような新計器類の出現を夢見たがその時代が案外早くやってきたというわけです。

戦争は人類に悲惨な結果をもたらしたというものの、反面、そのお蔭で航海計器開発の願ひが叶つたということは何とも有難いものだと思つております。

次に私の船長時代の思い出の中から2、3申し上げますと、当時は、よくレーダ故障がありました。今でこそ外航船はレーダ2台装備の船が多いようですが、1台の頃は故障で使えないとなると、急に目かくしされたようなもので、そのものがなかつた時代より一そう不安も大きくなる感じでも手さぐりでは走れないものです。

ある航海で太平洋から東京湾にはいろうとしたとき、レーダは作動したが映像が写らない。湾口付近の視界は1 裡ぐらいの霧、何とか館山湾にでも仮泊して霧のはれるのを待とうか、沖合で流して待とうか迷つておりました。客船であつたので定期保持も考えこのまま進航しようかとも思つていたところ、三浦半島方面から霧中信号鳴しながら湾に入ってくる船がありました。やがて左舷前方に大きな姿が霧の中にぼかり浮いてみえました。霧の中では特に目の前に現われたときは一般に数倍大きく感じられるものです。その船は日本船でレーダを使用しながらゆっくり湾内にはいつてくの見定めたので、これに随行することを考え、約1000米位の距離を保つて追従し、無事夕方予定時刻に横浜入港出来たことがあります。

その後、伊勢湾入港のときも、同じ要領で無事港に到着したことがあります。航海中レーダ故障で復旧の見込なく、エコーサウンダーを用いて伊勢湾入口付近に近づき出入の船舶の動静から1番ブイを見つけたうえ、適当な入港船を待ちうけ、これまた運よく他船にぴったりついて名古屋港外にたどり着いたというわけです。

ここで、船長のカンということについて若干申し上げます

てみたいと思います。先ほども申しましたとおり、私が船長になったときはレーダも音響測深儀などもあり、昔の船位測定時代を思えば、実は楽な気持ちでした。しかし昔の船長は大方は、若い士官の意見を聞いたり、相談したりすることなく、独自の判断で断行した人が多かったように思います。今のように立派な航海計器類があったわけではなく、誰に頼ることもなく孤独な立場であったように思います。船長は自分の長い経験の積み重ねによって得ている勘は貴重なものです。例えば同じ航路は、何回そこを通っても、同じ状態ではありませんからその航路を通った自己の克明な記録から判断を下すという苦勞が昔はありました。動く船が相手で、その船が接近してきたときの危険の判断をする場合、瞬間的、反射的な行為に移すということも、屢々あるので、船長の判断はその勘と自信と勇気とが必要だと思います。特に霧中航行などの場合に突発的な事態に対し、それが必要でした。現在は、自分の周囲をレーダ観測できるので一つの心構えもでき、昔ほどの突発的なケースがいくらかは少なくなってきたのではないかと思います。何回通った航路でも初心に帰れというわけでそういう標語を船橋に掲げて注意を喚起していたものです。経験の積み重ねで、予感とか直感というものがふっとわいてくるのがよくあるといわれます。経験のともなわない勘は応々にして山勘となって危険を招くおそれもあるでしょう。

船長の予感と申しますが、何か不安を感じることがよくあります。例えば、錨を入れて停泊したとき、少し風が強いがこの位でどうかとか、位置が変だからもう一度測定しなおさせようかというとき、皆も疲れているからいいだろうという船長の温情で止めたあと、何かがおこったということもあり、小さな思いやりが大きな不幸をまねくこともあるということを私は体験しております。

苦しいときの神だのみということで昔は神棚にお参りをしましたが、今では電波計器を頼みにする方がふさわしいのではないかと思います。しかし人間はやはり、

人力の及ばないときは神に願いをかけるというか、よほ苦しいとき、あるいは絶望的、迷い抜いたときに、神に救いを求めその加護を祈るのは心情だと思います。如何に文明が進み、船が機械化されても、船を動かすのは人間である以上、古色そうぜんたる神棚は永久に船から姿を消すことはないだろうと私は信じております。

運航操船も航海計器の発達で人間の勘の働きの代りに計器が働いてくれたり、教えてもくれるようになってきました。計器の発達で勘の必要がなくなり、あるいは勘がにぶくなることもあるかもしれません。

電子技術の発達は、レーダ、音響測深儀、ソナー、航海用の電子計算機、航海用の衛星、自動化船などに利用され、発展したわけですが、電波計器の発達というのは、それらを活用した航法に便利を与えています。昔の灯台は光と音でしたが、今は電波計器が航海の援助、あるいはハーバーレーダなどが誘導をするということで、進歩してきましたが、私たち航海実務者にとって視界不良のとき、いらいらする不安感を除き、安全航行の一助となっていることは事実ですが、それだからといってレーダ航法で安全率が昔より高くなり海難が減少したかというそうではなく、実際に乗り揚げなどはある程度少なくなっているかも知れませんが、衝突は減っていません。もちろん、船の数とか、輻輳状態にもよりますが、必ずしも昔より減らず、むしろ増えていて、事故の結果も案外大きいということが、いろいろな統計で見られます。こういった衝突とか乗り揚げの要因がどこにあるかをしんげんに研究して行くべきではないかと思います。

いろいろ情報処理に電子技術を使い、航海の安全に役立てるためにはレーダの使用者側とメーカーとの協同体制をより一層高めて行くべきではないかと思います。

電波航法研究会の20周年に当り、私も丁度20年の電波航法時代をすごして来たわけで、こういった研究会が、ますます発展して、こういう問題を少しでも解消してもらおうよう努力して頂きたいと思います。

衛星航法とその将来の展望

電子航法研究所* 木村小一

Satellite Navigation and its Future Prospect

Electronic Navigation Research Institute*

Koichi KIMURA

この講演は約30枚のスライドを使って行なったものですが、その図のほとんどを省略しました。そこでスライド説明の部分は図を使わないような説明に書き改めたことをはじめにお断わりしておきます。

私は人工衛星を航法に使うという問題を、将来の展望を含めてということで、現在すでに行なわれております船舶用のシステムとそれから航空用としての将来といったことについてお話をすることになっております。午前中からいろいろお話があったように、昔から今までの航法の中の天文航法は現在でもなお重要な手段でございますが、人工の星である人工衛星を使って航法をやるという問題を世界ではじめて考えた人がおり、今から丁度98年ほど前のことですが、これはアメリカの航空宇宙局のこの方面の担当の方がた、あるいは日本では岸田純之助氏が書かれた「宇宙開発」という本の中にもあるように E. E. Hale というアメリカの人だそうで「Brick Moon (レンガの月)」という SF 小説のようなものの中に出てまいります。それを若干ご紹介しておきますと、直径が60ftほどのレンガ製の月をはずみ車を使って4000マイルの円形の軌道にあげるといってございまして、これは北極星その他を使いますと天文航法で緯度のほうは比較的よくわかることになりまして、時計があまり発達しないときに経度を求めるむずかしさからこういう発想がでたということで、丁度グリニッチ天文台のある経度0と180°、それからニューオーリンズに当る東経、西経90°のところという2つの経度をまわる衛星をあげ六分儀で高角をはかることを考えたのだそうです。それから約80年ほどたって1957年、これはソ連がはじめてスプートニク1号という人工衛星をあげたときですが、航行衛星の発明のきっかけとなったのでございまして、アメリカのジョージア工科大学という大学の応用物理研究所のガイヤーあるいはワイヘンパッフというような人々が、この衛星からの電波を受信して、それがド

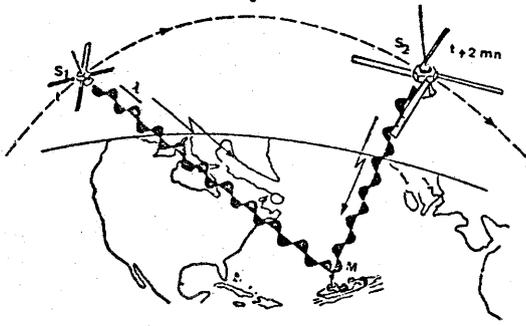
プラ効果を受けるということを見出したのがもとです。このドプラ効果の測定によって衛星の軌道をきめるという研究を進めてそれに成功したのですが、その間にその逆ができるのではないかと、つまり軌道のわかっている衛星を使って受信点の位置がわかるのではないかとということと同じ研究所のマッククルーレという人が云い出しました。その提案をもとにアメリカ海軍が経費を出して航行衛星システムの開発をやらせたのが、これからお話をするシステムのはじまりであります。

1959年から62年にかけて8個ほどの衛星、これはトランシットという名前で、そのうちの6個が成功し、それらを使いましていろいろな実験が行なわれました。そして、1964年には運用のシステムが完成されました。もともとは原子力潜水艦、あるいは原子力機動艦隊の航海用だったのですが、1967年には民間に開放され、その後私どもとかメーカさんがたのいろいろな利用の研究と、運輸省の船舶局が主体となって進められました超自動化船の研究がきっかけとなり、1970年に星丸丸がこれの利用実験が成功したということになるわけでございまして。

ドプラ効果によりまして、人工衛星が一定の周波数の電波を出しておりましたが、受信点に衛星が近づいてくるときには、それより高い周波数からだんだん低い周波数になりながら、その電波が受信されます。衛星が受信点に最も近づいたとき、受信周波数は送信周波数と同じになり、それから衛星が遠ざかっていくと、受信周波数は更に低くなっていきます。この衛星が一番近づいたところの受信周波数の変化の割合から、そのときの衛星までの距離がわかります。そのときの衛星の位置がわかりますと、そこから地球上の点が求まってくるという形になりますが、実際のやり方はもう少しちがった方法をとっております。

それは、衛星から正しい時刻の正2分ごとに時間信号がでておまして、第1図のような形で衛星の S_1 と

* 東京都三鷹市新川6丁目38番1号 (6-38, 6-chome, Shinkawa, Mitaka-shi, Tokyo)



第1図

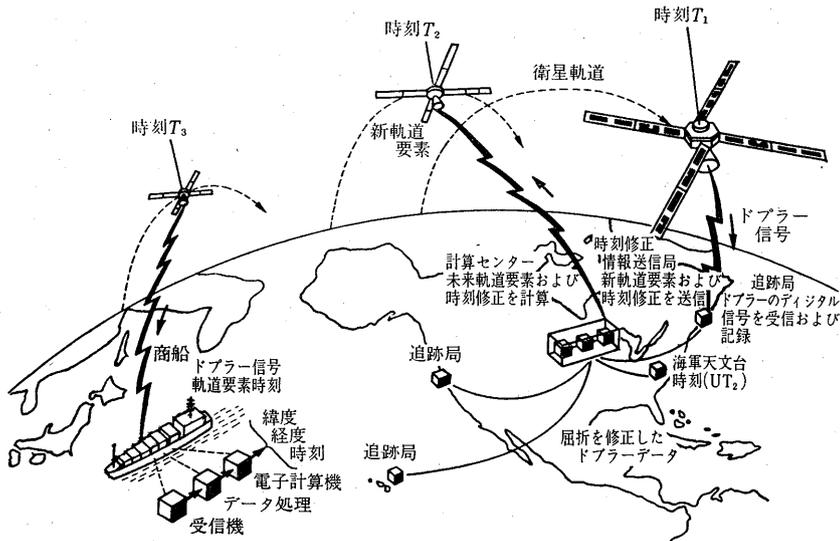
ろから2分後の S_2 のところまで衛星から来る電波の山と谷の数を船の上で勘定しておきます。つまり、 S_1 で衛星が出した時間信号と S_2 で出した時間信号の間をかぞえるわけです。そうすると図からおわかりのように S_2 のほうが衛星が船に近づいているので、衛星と船との間に入る電波の山と谷の数が、 S_1 の場合より S_2 のほうが少ないことがおわかりになります。つまりこのことは衛星が止まっていて船がその電波を受信しているよりも、衛星との距離が近づいただけ、その間に入る電波の山と谷の数がへったのですから、その分だけ余計に山と谷を船が受取らなければならなくなります。この余分に受取った電波の山と谷の数、これは衛星からの送信電波の波長(周波数)がわかれば、それを距離に直おせます。そして、その距離が2分間に衛星が船に近づいた距

離になります。衛星が船から遠ざかるときは反対で、受ける山と谷の数が少なくなることから、遠ざかる距離がわかります。

こうして S_1 と船 M 、 S_2 と M との間の距離の差がわかることになります。距離の差がわかるということは、ロランやデッカのような双曲線航法と全く同じで、ただその関係が立体的になっているだけがちがいます。そこで、この場合は S_1 と S_2 を焦点とします回転双曲面が求まって、その面と地球面との交わりである位置の線が得られることになります。

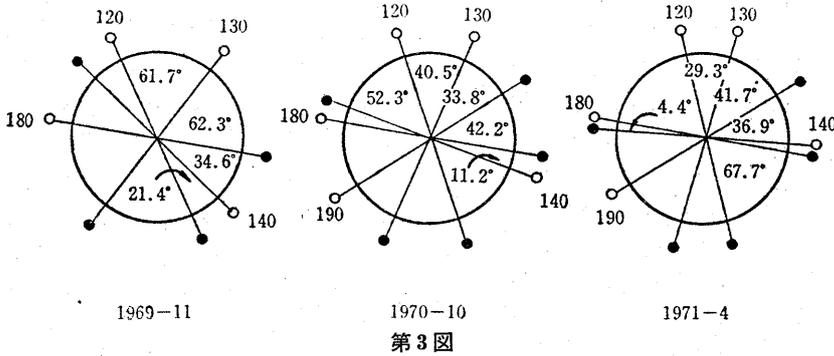
こうして、つぎの2分で衛星が S_3 というところに行くまでにもう一本の位置の線が地球上に引けます。衛星は地球から 1000 km ほどの高さのところを飛んでおりますので、その電波を普通は 15~16 分受信でき、この間に 7~8 本の位置の線が得られることになります。

第2図はこのアメリカ海軍の航行衛星システムの構成図です、アメリカ国内に4か所と追跡局というのがございます。ここでは衛星からの電波を受けて、さきほど申したようにドブラ効果を使って衛星の軌道を追跡し、それを計算センターで決定します。センタはそれをきめると同時に向う半日分ぐらいの軌道の予報を出しまして、その予報値を情報送信局から送信して、これを衛星上のメモリの中に入れます。そのメモリの中からは2分単位で、1組の数字が衛星からの電波に乗せて放送されておりますので、それを解読しますと2分ごとの衛星の位置がだいたい 10m 位までわかるという形になっておりま



追跡局(アメリカ国内にある)は衛星からの電波のドブラ周波数を測定し、そのデータを計算センターに送る。計算センターは衛星の軌道予報値を計算し、それを情報送信局を通じ衛星上に記憶させる。船は衛星からの電波のドブラ周波数を測定し、また軌道値を受信するので計算機で船の位置を求めることができる。

第2図



第3図

す。それと同時に衛星からの2分ごとの時間信号、これは海軍天文台というところで、それが正しい時報であるかどうかということをしらべて修正しております。

衛星の形は、実験衛星のはじめの間は、高空に僅かに残っている空気抵抗での軌道の変化を計算しやすいよう球形でしたが、その必要もないということで、そののちたいこ形になり、最近の衛星はだいたい図に書いてあるように太陽電池の羽根をひろげた形で、目方にして60kg位の比較的小形のものであります。

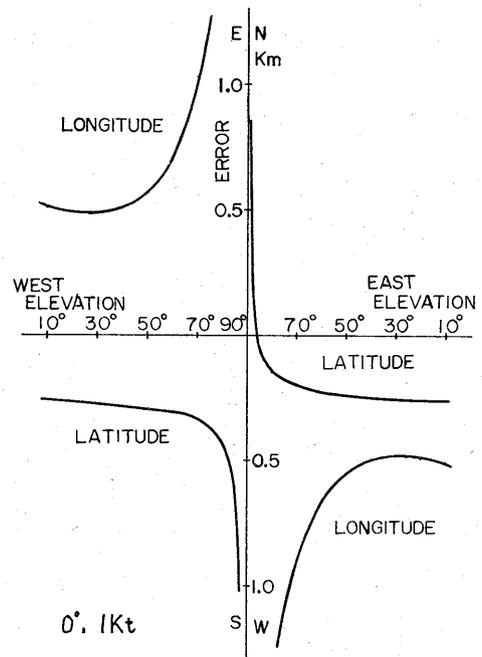
この衛星が400MHz帯と150MHz帯の2つの電波を出しておりますが、この両者はちょうど8と3の比になっております。これは、その電波が電離層の影響をうけて電波の通りみちが曲がります。そして、その影響で位置測定の誤差に出ますので、その補正をするために2つの周波数が必要ですが、400MHz帯だけの電波を受けましても相当の精度で位置をきめられますので、最近では受信機を安くするために1つの周波数だけを利用することもあります。

衛星は地球をとりまく形で、赤道を直角に通りぬけて北極と南極の上を通るといってまわっております。その軌道の面、軌道面といいますが、地球は自転しておりますので、地球上のどこにいても、どれかの軌道面の衛星がその上を通るといって形になっておりますが、実際にはその軌道面が僅かに右まわり、あるいは左まわりに動くものがあります。現在は5個の衛星がとんでおりますがこのうち、第3図に示したように140と書いた衛星がえらくぐらつきまして1年半ほどの間にこんなに動いております。ところがこの180という衛星の軌道面はほとんど動きません。ということで、衛星のかたまったところとあきができ、あまりあいたので、そこにもう一つ衛星を打上げないといけないということで190という衛星があがったということになるわけでございます。最近の雑誌の論文によりますと、まだ1ダースの衛星の予備があるということで、衛星の1つがだめになるかなどでつぎつぎ補給されることになると思います。

どうして、このように軌道面の動きがちがうかといいますと、これはそれぞれの軌道要素をよく見ますと140という衛星、これは軌道の赤道との傾斜角が89.2°と直角から0.8°異なっているのに180とか190とかいう、あまりその変化のない衛星は89.99°とか60.06°とかでほとんど直角で、つまり正しい極軌道に上げることができるかどうかでまざるようでございます。

これらの衛星からの電波を船が受けまして、受信機に入れます。受信機では衛星からの軌道のデータを解読して、それを区分して電子計算機に入れます。それからドプラ周波数の2分間の総合値といったものが受信機で測定されるわけです。そのほか船の動き、受信アンテナの高さというようなものを計算のために計算機に入れておく必要があります。

少し話が詳しくなりますが、わたくしどもの今度の研



第4図

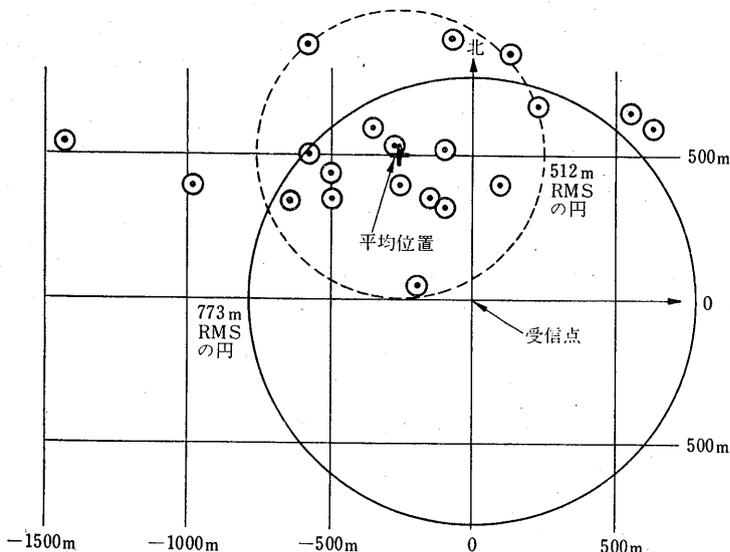
究発表会のデータの一部をお目にかけてみると、船の速度に北向きに1ノットの誤差があったときに、それを入れて位置を計算した結果がどの位悪くなるかを計算的にしらべたのが第4図でございます。横軸は、衛星が船に一番近づいたときにそれを見上げた角度で、中央の90°というのは自分の船のまうえを通った衛星で、横軸の両端は水平面すれすれの衛星です。また縦軸は、測位誤差の大きさとその現われる方向を示しています。仰角が70°をこしますと誤差が急にふえて、まうえを通った衛星では曲線は無限大になっていますが、実際は数万メートルの誤差が出てくるという結果になっております。これは速度の誤差が南北方向にあった場合で、東西方向の速度誤差があった場合はこれほど大きな影響はございません。こういうことで、あまり頭の上を通った衛星、仰角が70°以上であった衛星を使ったデータは使わないほうが賢明であろうという一つの証拠ができたのであります。

つぎに、ジオイド面というものがあります。これは地球の各部で重力の値が異なるため、地球はもともと赤道のほうがややふくらんだ回転楕円体なのですが、それから海水がもり上ったり、いくらかへこんだりしている面のことでその差は数十メートルであります。これと海面からのアンテナの高さを加えたものが計算に必要ですが、これの誤差も計算をしてみますと位置決定の誤差に影響をし、これまた衛星を見る仰角が70°以下ではたいした影響はありませんが、70°をこえると急に影響が大きくなり、まうえを通る衛星では高度誤差が200mというようなときには数kmの測位誤差となることがわかりました。

第5図は、ある1日24時間にわたくしどもの研究室の位置を測定した結果で、測位点が19点ございます。この点線の円から大きく左右に外れている点の3つほどは、さきほどの衛星の仰角が非常に高かった80°とか90°近くとかの場合で、普段はこんなにその割合は多くないのですが、この日は特に多かったことがあとでわかったのであります。それらを含めて点線の円が確率円で、その中心が平均の測位点になります、日本の地図の緯度、経度から受信の位置を出したのが受信点と書いたところで、それと平均測位点との間に600mほどの差がございますが、これは何回かはかって同じような結果が出ます。これはこの衛星システムの測位の原点と日本の地図の測位の原点との間に若干のずれがあるということになります。測地の専門家のかたがたのお話をうかがいますと、さきほどのジオイド面、つまり海面のデコボコに原因があって、天文測量をするときには水平面を使いますが、海面のデコボコがあるということは、場所によっては水平面と地球の平均球表面との間に差ができ、そのため天文測量の結果が世界中ですこしずつ異なってしまうわけだということです。世界各国の地図を伸ばして行きますと、例えばソ連のカラフトと日本の北海道の間などで数百メートル位の誤差が出るのはごく常識的な値であるということのようでございます。

この衛星航法システムを日本ではじめて使った船は「星光丸」というタンカーで、1970年9月からその実験を行なっておりますが、その結果を整理して今度の研究発表会で発表する一部をここで予じめ御紹介しておきます。

さきほどの固定の地点での測位精度は比較的示しやす



第5図

24時間に得られたデータを示します。左右に外れているのは衛星が直上近くを通ったときの測位データでこれは不採用とすべきものです。また緯度経度の正しい点から北北西に約600mずれているのは、日本で使っている緯度、経度とNNSSのそれとの相違によるものです。

いのですが、動いている船に対してどの位の精度で位置が求められたかを評価することは非常にむずかしい問題ですので、いろいろ知恵をしぼって見た一つのデータ整理の方法です。それは、この船は13万トンほどの船ですので、オートパイロットで直進しているときは、かなりまっすぐ走っているのではないかと考え、そのような部分をさがして、衛星で測定した位置をずっと直線のうえにのせて見ただけです。勿論、データの整理、直線にそれらの点をのせる操作は電子計算機を利用しましたが、そのような直線コースが、東京あたりから石油をとりに行くアラビア海まで6千~7千海里あるわけですが、第1表のように10か所見つかったわけですが、表の合計でおわかりのとおり全航程の30%に近い部分がありました。その区間を一定の速度で船が走ったとして、衛星の測位点と船がいたと思われる点の差RMSのを出しますと表にあるように0.64海里という値が得られました。これは船自身も蛇行したり、あるいは速度も常に一定ではありませんので、衛星測位の精度はこの値よりも相当割引いて、より良い値ではなかったかという一つの目安になると思います。この整理の仕方などはいずれ詳しく発表する予定でございませう。

そのほか星光丸でのデータをいろいろ解析しまして、非常に測位精度の悪かったと思われる点の原因などもしらべてみました。その中にはさきほどの衛星の仰角の高かったものもございましたし、また、マラッカ海峡で船がかじをいろいろと取っていたときと思われるものなどもあり、悪いデータのかなりの部分の原因をつかむこともできております。

以上が今、船でいろいろ話題になっておりますアメリ

カ海軍の航行衛星システム、NNSSの御紹介でございませうが、将来の航行衛星、特に航空機の場合はどうなるかということについて述べてまいります。

そのような衛星の機能の一つは音声通信の中継ということで、アメリカの応用技術衛星ATSという実験衛星を使って太平洋、大西洋で実験が行なわれました。この場合、電波はVHFを使っておりますが、将来はUHFになるだろうといわれています。もう一つ、将来の航空機用の衛星の仕事は、2個の衛星を使って航空機の位置を測定する、いわゆるサーベランス(監視)ということをやります。地上局から衛星経由で航空機に電波を送り、それをすぐ送り返してもらおうということを行います。その往復の電波の伝わる時間から、地上局と衛星との間の電波の往復時間を引算しますと、衛星と航空機との間の距離がわかります。もう1個の衛星についても同じことをやりまして、その衛星と航空機との間の距離も求めます。こうするとそれぞれの衛星を中心とした地球上に一つずつの円が画け、その交点、これは2つできますが衛星としては地球の赤道上の1点に固定して、地球の自転と同じ速さで地球をまわる、いわゆる静止衛星を使いますので、その交点は北緯と南緯の一つずつできます、従ってどっちの交点であるかはその航空機のだいたいの位置から簡単にわかります。

もう一つの方法は3個の衛星を使いまして、それら3個の衛星から互いに同期して電波を出します。そうするとそのうちの2個の衛星からの距離の差が求められる、これはロランやデッカなどと同じ原理です。そうすると組の衛星からの距離差から航空機自身が位置をはかることができるという方法でございませう。

第 1 表

海 域	潮 岬 南	種 子 島 東	奄 美 大 島 東	台 湾 東 方	フィリピン 西 方	南 支 那 海 中	スマトラ島 北 端 西 方	スマトラ、 セイロン の 中 間	ボンベイ沖	オーマン 湾 入 口	合 計 ま 平 均
直 航 距 離(哩)	111.4	153.9	91.8	145.9	143.2	319.3	208.9	302.7	152.3	172.0	1801.4
直 航 針 路(度)	230.7	233.0	220.7	225.0	227.1	225.7	269.8	267.7	309.2	310.3	—
起 点 の 日 時	1/22 1743	1/23 0536	1/23 1444	1/24 1746	1/25 1456	1/26 0946	1/30 1454	1/30 0852	2/3 1636	2/4 1750	—
終 点 の 日 時	1/23 0012	1/23 1444	1/23 2000	1/25 0206	1/25 2316	1/27 0402	1/31 0218	2/1 0126	2/4 0126	2/5 0342	—
所 要 時 間(時)	6.4	9.1	5.3	8.2	8.3	18.3	11.4	16.5	8.8	9.9	102.2
平 均 速 力(ノット)	17.3	16.9	17.4	17.5	17.2	17.5	18.3	18.3	17.2	17.4	—
測 位 点 の 数	6	8	5	5	7	9	7	10	8	6	71
偏 差 の RMS 値(哩)	0.77	0.93	0.40	0.42	0.59	0.67	0.82	0.79	0.32	0.73	0.63
左 右 差 の RMS 値(哩)	0.47	0.57	0.22	0.22	0.25	0.30	0.32	0.54	0.24	0.25	0.34
前 後 差 の RMS 値(哩)	0.62	0.73	0.33	0.36	0.54	0.60	0.76	0.58	0.20	0.68	0.54

前の2個の衛星を使うほうは、航空機の位置を地上局のほうで求めることになりますが、それは今日のはじめに岡田先生のお話しにもございましたように、航空機というのは衝突をさけるのにある程度距離を離して飛ばしております。それが現在、例えば北大西洋では横方向が120海里、縦方向が時間で15分といった間隔をあけておりますが、衛星を使うとこの値が120海里から30海里に、それと前後方向も5分位ということになりまして、何本かの航空路に非常に多くの航空機をとばすことができるようになるというのがそのメリットです。

このような航空機用の衛星システムはアメリカの民間航空局やヨーロッパの宇宙研究機構でありますESROなどを中心として一しょに開発をやろうという話が進みつつあります。その開発の費用はだいたい1億2~3千万ドルかかるそうで、衛星を太平洋、大西洋に2個ずつあげ、それにいく局かの地上局および航空機の協力を得て実験をしようというような形が考えられております。ヨーロッパ、アメリカのほか、日本、カナダ、オーストラリアというようなところにも参加を求めているという現状でございます。

それに使われる衛星の概要ですが、2個でだいたい11チャンネル位の通信中継ができるほか、さきに申しました2個の衛星を使って地上局で航空機の位置を出す実験をするチャンネルそれぞれの衛星が一つずつもつことも考えられております。1975年頃より衛星が順次おげられ、運用試験をするという計画のようでございます。衛星の目方は、さっきのNNSSの場合は60kgでございましたが、この場合は静止衛星でありながらだいたい300kgないし350kg位になるだろうといわれております。

衛星の形ですが、大きな問題が航空機のアンテナにあり、これはアンテナをあまり大きくできないということで、衛星の送信電力のほうをかなりふやさなければならないということになります。現在の通信衛星のようにスピン安定といいますが、衛星をまわしながら姿勢の安定をはかる衛星では、百数十ワットしか直流電力が得られませんが、3軸安定といいますが、衛星を常に地球のほうを向けて、太陽電池の羽根をひろげてそれを常に太陽に向けるという形にしますと数百ワットの電力がとれます。それでもなお、さきに云いました2個で11チャンネルというような容量をもたすことはなかなかむずかしい

そうであるというのが、今後の衛星のポイントのように思われます。

現在の通信衛星では地球全体をカバーするようなアンテナで電波を送っておりますが、この場合には衛星のアンテナのビームをもう少しシャープにする、そして、太平洋であれば、アメリカの西海岸からハワイまでを一つのアンテナでカバーし、それ以外の例えば日本からハワイ、アンカレッジといったところを別のアンテナでカバーをするといったことも考えなければならないようです。

こういう衛星で1975~6年位から運用試験がはじまりまして、数年は実験をしたり試験をしたりする。それから規格などを作ったりしまして1980年代のはじめには実用にしたいというふうにいわれております。そのつぎの時代の衛星として現在考えられている衛星についても、最後にちょっとご紹介しておきます。

それは24時間周期、つまり地球の自転と同期するいわゆる同期衛星でありながら長楕円の軌道をもつ衛星を使います。そういう衛星をいくつかの軌道面に組合わせておき例えば北半球に重点を置いておきますと、南半球のほうは速くまわってきて、多くの衛星が北半球のほうに集まってある点を中心にくぐるると1日1回の割で希望の地域の上空をまわるといった衛星の配置をとることができます。そして何をするかということ、さきほど岡田先生のお話しにもありましたように、例えばアメリカ国内では現在レーダで航空機の位置を見ておりますが、地域が広いと沢山のレーダがいる。そこでこういう衛星システムを使いましてアメリカの上空の航空機全部の監視をするというようなことが1990年代には実現するのではないかと考えてございます。この場合には位置の決定精度が、現在大洋上の航空機用の衛星に考えられている1海里から、1桁あけて0.1海里にし、更に航空機の高度も同時に3次的に測定する。更にさきの洋上用衛星ではだいたい数百機の航空機を対象にしていますが、この場合は万をこえる数の航空機を相手にしなければならないということで、技術的にもむずかしい問題がでてくるかと思いますが、20年すればこういうものもでてくるのではないかとこのように考えられております。

簡単でございましたが将来の問題を含めて人工衛星が如何に航法に使えるかということについてご紹介いたしました。

電波標識の現状と将来

海上保安庁燈台部* 只野 暢
電波標識課長

Present and Future Progress of Radio Navigation Aids

Maritime Safety Agency*

Tohru TADANO

「電波標識」という言葉は聞き慣れない、むずかしい言葉ですが、これは昔、光を使った燈台、音による霧信号等を一括して航路標識と言っていたのを、電波を使った航路標識が実用化されたときに「電波標識」という新しい言葉が作られたものであります。電波によって船舶、航空機に対する航行の援助を行なう施設であると考えていただいて結構だと思います。

この電波による航行援助方式には陸上に設置した施設に、必要な機能を持たせて、その用に供するものと、利用者が自から設置した装置だけを使用して、陸上施設の援助に頼らないものとの2つに分類することができます。例えば船舶用レーダとか音響測深儀、ドップラソナー、慣性航法装置などは後者に属しますが、ここでは主として前者の地上局による航行援助方式のうち、船舶を対象とするものについて現状と今後の方向についてお話したいと考えております。

航行援助の目的は、船舶を出発港から目的港まで安全かつ速やかに誘導し、航行させることにありまして、その基本は航行船舶に正確な位置を知らせることです。しかし、航行船舶が必要とする位置の正確さは船舶が置かれている状況によって異なります。

たとえば、太平洋の真中を走っている船舶は、知らされた位置が真の位置から100メートル位違っていたとしても全然支障がありません。しかし、港の入口などで航路幅が200メートルしかない場合には、知らされた位置が100メートル位狂っている可能性があるといわれれば船は動けなくなってしまうでしょう。もちろん位置が正確にわかるに越したことはありませんが、必要、技術面、経済性などからその程度が決められます。

航行援助方式に要求される機能はこれを利用する周囲の状況によって次の3つに大きく分類されます。

- (1) 外洋で使用するもの
- (2) 沿岸海域 (30~50マイル) で使用するもの

(3) 湾内または港内および狭水道で使用するもの
外洋では近接して航行する船がなくまた暗礁の心配もないのでその位置に2~3マイルの誤差があっても別に支障はありません。また、刻々とその位置が判らなくとも余り問題はないと思われます。しかし、最近の自動化船に見られるように、位置の情報から船の針路、速度を知り、それによって自船のコントロールを行なうようなことが一般化しますと船舶からの要求も異なってくると思われます。

船が岸に近づけば周囲の船も増え、また暗礁などの障害物を避ける必要もでてくるので、位置の精度は相当によくなければならぬし、またできるだけ連続的に位置を知る必要もできます。

湾内や港内ではフェリーボート、はしけ、タグボート、ヨットなどから貨物船、タンカーなど小型船から大型船の様な種類の船が思い思いの針路速度で入り組んで航行し、浅瀬、沈船、漁網などの航路障害物も多いので位置精度は極めて高くしなければならぬし、その位置情報も刻々とつかむ必要があります。

我が国における電波標識の始まりは、昭和2年、当時関東州といわれた遼東半島の円島に開設された方向探知局でありまして、これは船舶から発射する電波の到来方向を測定して船舶に通知するもので、これはいわば沿岸用電波標識といえることができます。この方向探知局は少しずつ増えてきましたが、同時に船舶に設置された方向探知機を使用して、船舶が自から方位を測るために必要な標識用電波を発射する業務を行なう一般に無線標識局と呼ばれる無線局が作られました。その後ループアンテナによって8字指向特性の電波を発射し、これを回転させることが考案されました。船舶では受信電波の強度の変化から標識局の方向を知るもので、約300kHzの電波を使用するので、中波回転標識として知られてあり、その最初の実験局が昭和12年に剣崎に建設され、その後

* 東京都千代田区霞ヶ関 2-1-3 (1-3, 2-chome, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo)

昭和18年に海軍の要望で釧路に移設されました。この中波回転標識は第2次大戦中から戦後にかけて電波標識の中心的存在となって盛んに建設が進められて、昭和の30年代の後半までには我が国の周辺ではどこでも中波無線標識が利用できるようになりました、この無線標識の精度は ± 2 度、利用範囲は海岸から30海里前後で典型的な沿岸標識であったと言えるでしょう。このように戦前から戦後、昭和30年頃までは中波による方向探知局が電波標識の中で主流を占め、最盛期には22局が運用されていましたが、船舶の方向探知機が急速に整備されるにしたがいその利用件数が減少し、昭和43年にはすべての方向探知局が廃止されています。

第2次世界大戦は電波技術に大きな進歩をもたらしました。その成果はレーダでありそしてロラン・デッカに代表される新しい電波航法であります。ロランは軍事的な要求にもとづいてアメリカの科学者達が協力して開発した長距離航行援助方式であり、陸岸から200海里で測定精度は300メートル、利用範囲500海里以上というのがその目標であったと聞いております。この方式は大成功を収め、ロラン局は世界の各地に建設されて、その航法としての優秀性を示しました。

このロランシステムにより双曲線航法という新しい航行援助方式が確立され、測定精度が高く有効範囲が昼間700海里、夜間1400海里という長距離の航行援助施設がこの時点で誕生した訳であります。戦後いち早くアメリカは我が国にもロラン局を建設し日本海から南支那海にかけてロラン網を整備し、その利用技術を一般に公開しましたので、我が国の民間船、特に昭和年代に入ってからには漁船の間にロランの利用が急速に普及しました。

海上保安庁では我が国周辺のロラン網を完成させるため、落石、大釜崎、波崎の3局を昭和31年から34年にかけて建設し北太平洋、三陸沖のロランサービス網を完成させております。昭和39年に至ってアメリカは日本のロラン局を運用する目的を失い廃局する意向を示しましたが、我が国の船舶の利用状況にかんがみ、海上保安庁はこれら3局、松前、新潟、米子をアメリカから移管を受けて引き続き運用することとしました。また、この時に廃止された釜山局に代わる局として対馬ロラン局を新設し、昭和41年には野間池ロラン局を引継ぐとともに大島局を八丈島に移設しました。これら6局にさきの太平洋3局をあわせ、現在9局のロラン局を運用中であります。(昭和47年5月15日沖繩返還と同時に、宮古島ロラン局の運用を引継いだので、現在10局を運用中)

ロランが特に漁船の間に急速に普及しましたことは、電波航法の価値観の新しい発見でありました。つまり、従来の方針は電波航法の利用設備に要する経費をなるべく

低く抑えることが一つの目標でありましたが、ロランが大型の商船よりはむしろ小型の漁船に普及したことは、利用経費が単に見掛け上の価格よりも利用価値との対比の上で受け止められるということを実に示すものであったと言えるでしょう。このことが、次にデッカ局の建設に我々を踏み切らせた一つの理由になっております。

デッカはイギリスのデッカ社が開発したシステムでありまして、ロランが約2MHzの中短波を使用するのに対して70~130kHzの長波を使用し、また、ロランがパルス電波による時間差測定を行なうのに対して持続波の位相差比較を行なうという大きな違いがあり、精度の点ではロランの約10倍ということになっております。このデッカがノルマンディ上陸作戦に威力を発揮したことは有名で、ロランよりも利用の操作が容易で精度もよく航跡の自動記録ができる利点がありますが、有効範囲がロランの昼間700海里、夜間1400海里に対し、昼間600海里、夜間300海里と狭いものであります。したがっていわば中距離航行援助施設とでも言うべきものでありまして、沿岸から外洋にかけて利用するものと言えるでしょう。

我が国のデッカ局は昭和42年に北海道チェーン4局、昭和44年に北九州チェーン4局が開局しておりまして、順次全国的に整備するよう計画しております。現在のデッカシステムは中距離航行援助施設として発達し利用されてきましたが、最近になってヨーロッパにおいては狭水道の航路分離をデッカによって行なおうとする新しい考え方が台頭しておりまして、我が国におきましても狭水道の航行問題が盛んに論じられていますので、近い将来この問題がとり上げられることになるのではないかと思われます。

レーダは第2次世界大戦中に、マイクロ波技術の進歩とともに開発されたいわば電波の眼でありまして、この開発の差が戦局を左右したと極言する人もある程であります。終戦後、一時我が国のレーダの研究は連合軍によって禁止されていましたが、やがてそれが解除となり、昭和30年頃から急速にレーダを装備する船舶が増加しました。このレーダの普及と方向探知機、ロランの普及を製造技術面、利用技術面から推進するためにメーカ・ユーザ・学識経験者によって「電波航法研究会」が生まれ、これは皆御存知のとおりであります。一方レーダのマイクロ波技術を応用した新しいビーコンが考案されました、一つはコースビーコンであり、もう一つはトーキングビーコンであります。コースビーコンは狭水路などで1度の幅を入港船に指示するもので、有効距離は数マイル程度であり、トーキングビーコンはレーダのアンテナで得られる鋭いビーム特性を利用して、局からの方

位を音声で知らせるもので有効距離は約20浬程度であり簡易型のビーコンとして特定の個所で利用されており。また、船舶のレーダ向けのビーコンとしてレーマック、トランスポンダがあります。これらはレーダの映像が地形や物標の大きさによって判別がしにくいばあいとその判断を容易にするためのもので岬の先端などに設置されています。レーダの普及とともにレーダの限界が認識され、このレーダを港湾付近の陸上に設置し航行船舶のレーダの視界の限界を補なういわゆるハーバーレーダが考案されました。我が国では現在釧路と大阪に設置されています。世界的にはロッテルダム、ハンブルグ、サザンプトンなどにも設置されて大きな成果を挙げており、港湾の航行援助施設として典型的なものであります。

以上のように、方向探知から始まった電波による航行援助施設は技術の進歩とともに各種のものが考案され必要に応じて設置され利用されていますが、技術の進歩とともに、より精度の高いもの、より広い範囲で利用できるものへの研究、開発が続けられてきています。

航行衛星による航法もその一つでありますし、現在建設中のオメガ局もその一つであります。この2つはいずれも世界全域で利用できることを目標として開発されましたもので、外洋航行援助方式としての究極の目標を達成しようとしているものであります。これらにはそれぞれ長所と短所がありますが、どちらの方式が有効であるかは今後の各方面の進歩発展に委ねられる問題でありまして、つまり、技術の進歩、交通量の増大、交通機関の発達、経済活動の発展などの諸要素がからみ合ってその命運を決定してゆくことになるであります。

電波航法の欠点の一つは、利用設備に費用がかかることであるといわれてきました。そのために利用者の負担をなるべく少なくすることが開発の際の一つの目標であった訳であります。たとえば、中波回転標識は利用者が方向探知機のような高価なものを設備しなくとも一般の受信機で利用可能であるということが大きな利点と考えられていました。

トーキングビーコンやコースビーコンの開発に当たっても受信機を廉価なものとするということが一つの大きな目標でありました。これらのマイクロ波ビーコンは利用範囲が限られているのでこの考え方は一応正しいと思われませんが、沿岸から外洋にかけて利用するものは必ずしも表面上のコストのみで判断すべきものではないということが電波標識の考え方に対する重要な進歩であったと考えられます。たとえばロランの測位精度は漁船が漁場を探し求めるのにまさにピッタリであり、漁船は争ってロランを装備しその恩恵に浴しました。大型商船にロランの普及が遅々として進まなかったのに対して一見分不

相応に見える漁船にロランが普及しました30トン余りの漁船に方探、ロラン、レーダ、漁探が装備されまさに花盛りの観を呈しましたが、これら電波航法の最先端の機器は操業上の要求から漁船に次々に装備されたものであります。これらの莫大とも思える投資が、水揚量の増加、操業効率の向上で十分回収できるという認識がこれだけの普及をもたらしたといえるでしょう。このような航法装置の普及によって中波回転標識の利用は今後、大きな伸びはなかなか期待できないと思われ、一部には中波回転標識の整理論もありますが、しかしこれも経済負担力の問題でありまして、中波回転標識が全く不要になるということではなくレジャー用ヨットであるとか、沿岸の小型漁船とか、この程度の精度で十分に間に合う利用者への普及が今後とも航行の安全のために必要であろうと考えられます。利用が我が国の近海に限られるもの、特に国内の船舶に限って利用されるものについては我が国独自の方式を考えることができますが、しかしロランとかデッカのように沿岸ないし外洋で利用できるものについては国際的に方式を統一することが利用の面から有効であり望ましいことであります。今のところロランとデッカが代表的なシステムとして世界の相当に広い範囲で利用されていますが、広いといっても地球の全表面からみればロランでも10数パーセントにしか過ぎないデッカは更に狭いものであります。そこで全世界で利用できる方式ということで研究が続けられ開発されましたのが先にふれたオメガであります。オメガは全世界に配置した8局で全世界をカバーしますがこのような方式を一国だけで建設することは不可能であり、当然国際間の協力が必要となります。局建設に当る国は自国の負担において局を建設し、そしてそれぞれの責任において運用してゆく、この協力によってはじめてシステム全体の機能が発揮されることとなります。

このようにより広い範囲で利用するシステムの開発は国際間の協力という新しい問題を提起しました。もちろん、これまでも国際間の協力という問題が全然なかった訳ではありませんが、しかし多くは二国間の問題でしかも相互の利益が一致するというのが普通でありました。

オメガのような場合は、局建設を負担する国とそうでない国とがともに恩恵を受けることとなりますが、今後の経済負担をどうにかすることは大きな問題として残されています。同じような問題は航行衛星についても考えられますし、現にロランAについても問題が提起されています。すなわち現在の世界のロラン局は我が国のものを除いて大半はアメリカのコストガードが運用していますが、昨年アメリカはアメリカ本土以外のロー

ン局の運用を漸次停止していく意向を明らかにしました。これは世界中の利用者にとって重大な問題があります。国際民間航空機構 (ICAO) においてもロランを現に使用し、必性を認めているにもかかわらずその維持運営については協定がないのが実情であります。したがって、未開発国で現在アメリカのコストガードが運用している局の今後の維持をどうするかについては国際的な機関の設立などが当然議論されるのであります。現在これに代えて国際航路標識協会 (IALA) がその機関たるべく活発な動きを示しつつありますが、その帰趨はまだ明らかではありません。多少の迂余曲折はあるにしても国際的な維持管理の方向に進むであろうことはおそらく確実であります。この問題とは別に、ロラン方式が今後どのようなことになるかについてオメガ建設の進展とともに色々と取沙汰されています。アメリカとしては国外のものについては運用継続の意思のないことを明らかにしましたが国内のものについては 1975 年までにその存廃を決めることとしています。これは沿岸用として残すかどうかということでロラン A, ロラン C, デッカのうちから一つを選ぶ意向のようであります。我が国としてはロラン A の存廃について漁業ときわめて密接な関係にありますので、まだ具体的な態度をはっきりさせていませんが、オメガがロランと精度が同程度であり、その土利用範囲の面では格段に優れていますので現在のところ受信機コストは嵩むが、ロラン利用者は漸次オメガの利用に移行するものと予測しています。従がいて、その状況を見て存廃を決めたいと考えております。デッカについては精度がよく、沿岸航行用として有利に利用

ができると考えられますので、沿岸航行用として今後さらにその利用が促進されるべきであろうと考えられます。

今後の経済の発展によって国際間の交通輸送量は益々増大するものと考えられ、したがって輸送の効率化は各国の重大な関心事であります。大型タンカーの出現、先般横浜で話題になりましたラッシュ (LASH) 船の登場、船の動きをすべてコンピュータで制御する自動化船の登場などすべてその現われの一端であります。これに伴って航行援助方式に対する要求もさらに精度がよく、そして測定が容易なものへと進んでゆくであります。人工衛星も当然利用されてくるのであります。そして現在の単に電波を出すだけで測位は利用者というものから積極的に位置を知らせてやる方式の開発が考えられます。また気象条件まで考え合わせた最適航路あるいは針路のアドバイスなども航行援助業務として求められるようになるのではないかと考えられます。このことはすでに海上保安庁が昭和 45 年度から建設に着手しております東京湾海上交通情報機構に見られますように、港湾内、狭水道における航行援助業務についてはすでに考えられつつあることであります。港湾内または狭水道における航行援助は単に船舶に位置を知らせるのみではなく、障害物の表示、他船の動向までを積極的に通報することが必要なのではないかというのが我々も含めて一般的な最近の考え方です。この考え方が技術の進歩とともに順次・港湾狭水道から沿岸外洋へと押し広げられてゆくであります。その時は世界も随分狭くなっている筈であります。

昭和 47 年度 電波航法研究会 役員名簿

会 長	松 行 利 忠 (防衛大学校教授)	柴 田 幸 二 郎 (安立電波工業株式会
副 会 長	岡 田 実 (工学院大学学長)	社)
	庄 司 和 民 (東京商船大学)	柘 植 茂 二 (日本無線株式会社)
企画幹事	岡 田 高 (沖電気工業株式会社)	鈴 木 裕 (東京水産大学)
	柴 田 幸 二 郎 (安立電波工業株式会	鈴 木 務 (電気通信大学)
	社)	平 塚 司 郎 (日本郵船株式会社)
	久 木 田 実 守 (日本航空株式会社)	小 野 確 良 (海上保安庁)
	船 越 繁 一 (大阪商船三井船舶株	会 計 監 査 真 田 良 (日本船主協会)
	式会社)	岩 佐 作 一 (水洋会)
	今 吉 文 吉 (海上保安庁)	出 版 幹 事 木 村 小 一 (電子航法研究所)
	只 野 暢 (海上保安庁)	会 計 幹 事 飯 島 幸 人 (東京商船大学)
	平 田 剛 (大洋漁業株式会社)	庶 務 幹 事 豊 福 滋 善 (海上保安庁)
編集幹事	岡 田 高 (沖電気工業株式会社)	



Observation

カルマンフィルタとその航法への応用 (解説)

沖電気工業KKK* 森田 清
理事技師長

Kalman Filter and its Application to Navigation

Oki Electric Co., Ltd.*
Kiyoshi MORITA

序文：カルマンフィルタ (Kalman Filter) は航行中の船とか飛行機とか、その運動軌道の計算に使われるソフトウェアである。これは実際の軌道がどうなのかを最初ある想定値から出発、その後、時刻の1ステップ毎に測定可能のある関係数値をコンピュータへ入れ、これを基として出来る限り正確に軌道の真値を算出しようとする。そして必要に応じさらに1ステップ先での位置や速度を予測することも考えているソフトウェアである。

予測ということは従来の経過の延長であり、第1図に示す様にAからBへの経過が知られていてBから次にCへと伸ばすことである。ここに述べる Kalman Filter は adaptive (適応) control を目標としたものでその予測には dx/dt と x の関係が刻々に与えられて行くことが条件となっている。そして更に一般的な傾向として観測には雑音に伴い、この雑音の統計的な性質が刻々に与えられるとき Kalman Filter は他の従来の方法 (最小二乗法

の如き) に比べ、より正確な予測値を算出し得る所に特徴がある、予測したらそれからどうするのか? それはその結果、かねて計画している路線とかけ離れて行きそうなら、システムの駆動力を制御して、これを修正してゆく。

原理：話を一般的にするために対照となる現象を微分方程式であらわすか、或は差方程式の形であらわす。時間的経過をデジタル量で算え上げるとき差方程式となるわけで、今の場合それは次式の形をとる。

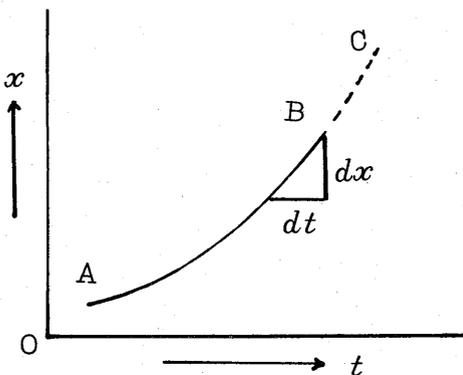
即ち現象が

$$\begin{aligned} X_{n+1} &= \Phi_{n+1, n} X_n + g_n & (1) \\ Y_n &= M_n X_n + D_n v_n & (2) \end{aligned}$$

で示されるとする。ここで X_n は知りたい軌道そのものの座標、 Y_n は軌道と直結した或る量で、これは X_n とちがって直接観測可能の量である、 Y_n と X_n は式(2)の M_n で結ばれている。 n は観測の時刻の step を示し単位は1秒でも0.1秒でも何でもよい、観測の時間々隔である。 $\Phi_{n+1, n}$ は X_n とこれから1 step 後の X_{n+1} とを結びつける係数で第1図の dx/dt なる傾斜に関係する。 M_n も $\Phi_{n+1, n}$ も既知量であるとする。

g_n は X_n に付帯する擾乱、 v_n もまた雑音もしくは擾乱であり、係数 D_n は既知とする。 g_n, v_n を考慮することが Kalman Filter の特色で、若しこれが無ければ初めから問題にならないのである。Kalman ではこの g_n, v_n が直接には与えられて居らず、これは時間的に不規則に変化するがその統計的な性質がわかっているとする。

(1)(2)式に示される X_n は軌道の座標の真値をあらわ



第1図 航行径路

* 東京都港区芝浦 4-11-20 (11-20, 4-chome, Shibaura, Minato-ku, Tokyo)

しているのだが、雑音や擾乱のある状態で真値がやすやすと計測出来る筈はない、出来るのは X_n の推定値……これを \hat{X}_n とする……でしかないとする。そして

$$\text{推定誤差 } \tilde{X}_n = X_n - \hat{X}_n$$

の二乗平均値を \min にしようと心懸ける。

この推定値 \hat{X}_n はこれに(2)式中の M_n をかけると $\hat{Y}_n = "Y_n \text{ の推定値}"$ が得られ、これと実際の観測値 Y_n との差

$$\Delta Y_n = Y_n - M_n \hat{X}_n \quad (3)$$

なる量を求める。そして \hat{X}_n から次のステップでの \hat{X}_{n+1} を求める計算には $\hat{X}'_{n+1} = \Phi_{n+1, n} \hat{X}_n$ へこの ΔY_n に比例する小さな修正項を加える必要があり、その比例定数を時々刻々巧みに調整すれば前記の \tilde{X}_n 最小ということが達成出来ようと考えたのが Kalman である。この修正用の比例定数…… K_n と名附く……を求めるのが目的達成の方途である。

これを式でかけば

$$\hat{X}_{n+1} = \Phi_{n+1, n} \hat{X}_n + K_n \Delta Y_n \quad (4)$$

となる。 K_n は n と共に、すなわち時々刻々変ってゆく。これが一般の場合である。

なおこれ迄は X も Y も共に1つの変量として見て来たが実際に船や航空機の軌道要素としては座標 x, y, z , 分速度 $\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}$ があり、場合によっては角速度 $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ を考えるなど沢山の素子から成っていると見るべきで、上記の考えをこのような多素子の場合に拡張してゆく、それには X の代りに列ベクトル $[X]$, Y の代りに列ベクトル $[Y]$ を扱う必要を生じる。この考えに基いて求めた K の値は次の第5式で示される。(計算略)

$$K_n = \Phi_{n+1, n} P_n M_n^T [M_n P_n M_n^T + D_n R_n D_n^T]^{-1} \quad (5)$$

ここで M_n は(2)式の M_n と意味は同じだが表現がベクトル X_n とベクトル Y_n とを結びつけるマトリクスの形式になっている。 M_n^T はその Transpose (転置行列) である P_n は推定誤差 \tilde{X}_n の共分散 (covariance) で

$$P_n = E[\tilde{X}_n \cdot \tilde{X}_n^T]$$

E は Expectation の E であり、 R_n は擾乱 v_n (列ベクトル) の共分散で

$$R_n = E[v_n \cdot v_n^T]$$

である。また D_n は(2)式の D_n と同じ意味であるがここではマトリクスになっている。

共分散というのは次式の形で示され一種の二乗平均値である、やはりここではマトリクスの形になっている。即ち一般に Z の共分散とは Z が m 個の元素から成る列ベクトルであるとき Z から Z の平均値 \bar{Z} を差引き $Z - \bar{Z} = z$ とし

$$\text{cov}(Z) = E[(Z - \bar{Z}) \cdot (Z - \bar{Z})^T] = E[z \cdot z^T]$$

$$= E \left\{ \begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ \vdots \\ z_m \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} z_1 z_1 & z_1 z_2 & z_1 z_3 & \dots & z_1 z_m \\ z_2 z_1 & z_2 z_2 & z_2 z_3 & \dots & z_2 z_m \\ z_3 z_1 & z_3 z_2 & z_3 z_3 & \dots & z_3 z_m \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_m z_1 & z_m z_2 & z_m z_3 & \dots & z_m z_m \end{pmatrix} \right\}$$

$$= \begin{pmatrix} E(z_1^2) & E(z_1 z_2) & \dots & E(z_1 z_m) \\ E(z_2 z_1) & E(z_2^2) & \dots & E(z_2 z_m) \\ E(z_3 z_1) & E(z_3 z_2) & \dots & E(z_3 z_m) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ E(z_m z_1) & E(z_m z_2) & \dots & E(z_m^2) \end{pmatrix}$$

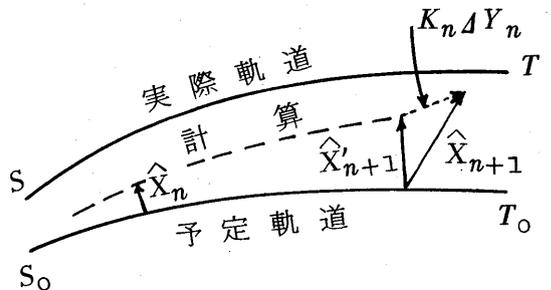
をあらわす。ここで $E(z_1 z_2)$ は $(z_1 z_2)$ なる値がどんな値をとるか種々変化するであろうが統計的に見てその平均値は凡そきまるわけで、その値を Expectation (期待値) of $(z_1 z_2)$ というのである。

さて(5)式で K_n を求めるには $n=0$ なる初期値の P_n を適宜想定してかからねばならない、つまり初めからある推定誤差を設定してかかるのである、 n が増すとこの P_n は次第に小さくなって行くのが本当の姿で、これを第2図に示す。 $S_0 T_0$ が予定軌道を表している。

即ち初め \hat{X}_n が推定位置で次のステップでは(4)式から $\hat{X}'_{n+1} = \Phi_{n+1, n} \hat{X}_n$ として \hat{X}'_{n+1} を算出、これに観測で気附いた[(3)式] 誤差 ΔY_n を基として修正項 $K_n \Delta Y_n$ を加えて新たな推定値 \hat{X}_{n+1} を求める。すると \hat{X}_{n+1} の方が \hat{X}_n よりも実際軌道に近づく、これを繰り返して行く内に次第に実際軌道がはつきりし、それが予定の軌道と隔たっているかどうかを確認、そこで操舵を調整して船の運行を正しくするのである。

しかし振り返って考えて見ると(3)式で観測 Y_n とは何か? Y_n でぢかに実際軌道が見えるのではないかとの疑問が残る、ところがこれは NO である。 Y_n とは実は天測とか satellite (人工衛星) を使った Doppler とか間接の軌道決定法なのである。そこで Kalman 航法とは Y_n と $\Phi_{n+1, n}$ を頼りにして Y_n の未来値 X_{n+1} をきめて行く航法なりといえる。

(5)式中の $\Phi_{n+1, n}$; D_n ; M_n ; R_n は前もって与えられねばならない。そして P_n については K_n の計算過程から次の recurrence formula が与えられている。



第2図 軌道の計算

$$P_{n+1} = [\Phi_{n+1, n} - K_n M_n] P_n \Phi_{n+1, n}^T + Q_n \quad (6)$$

$$Q_n = E[g_n \cdot g_n^T] \quad (7)$$

ここで g_n は(1)式に示された擾乱, または制御信号の大きさを示し, Q_n はその共分散である。

応用例: 海上航行の船舶に Kalman Filter を適用した航法を用いる場合の様な扱いになるかを机上計算した例が柴田実, 穂坂三四郎両氏¹⁾ によって与えられた。ここでは X として右記の7要素の列ベクトルが与えられている。ここで第3図を参照。 $\Delta p_x, \Delta p_y$; 地球上にこの

図のような座標をとったとき, 問題にしている船舶の位置, 誤差 (但しある基準値からのずれ), $\Delta V_x, \Delta V_y$ は同じく速度の x, y 成分誤差 (但し同上), c_x, c_y は x 軸 y 軸まわりのプラットフォームの傾斜角, c_z は船首方位のずれ角。

そして $\Phi_{n+1, n}$ については X_n と $\frac{dX_n}{dt}$ との関係という形で analogue 量で扱ったとき, それは

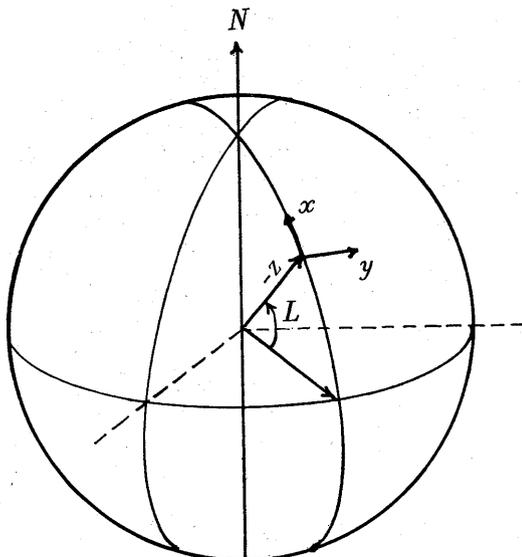
$$\begin{pmatrix} \frac{d}{dt} \Delta p_x \\ \frac{d}{dt} \Delta p_y \\ \frac{d}{dt} \Delta V_x \\ \frac{d}{dt} \Delta V_y \\ \frac{d}{dt} c_x \\ \frac{d}{dt} c_y \\ \frac{d}{dt} c_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & g & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -g & 0 & 0 \\ -\frac{\omega \sin L}{R_e} & 0 & 0 & \frac{1}{R_e} & 0 & -\omega \sin L & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{R_e} & 0 & \omega \sin L & 0 & \omega \sin L \\ -\frac{\omega \sin L}{R_e} & 0 & 0 & -\frac{\tan L}{R_e} & 0 & -\omega \sin L & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta p_x \\ \Delta p_y \\ \Delta V_x \\ \Delta V_y \\ c_x \\ c_y \\ c_z \end{pmatrix}$$

このようになっている。ここで (第3図参照)

- g ...重力加速度
- R_e ...地球の半径
- L ...船の位置の緯度
- ω ...地球の回転角速度

そして $\Phi_{n+1, n}$ と $\frac{d}{dt}$ との関係は n の一単位が Δt 秒であるとするなら

$$[\Phi_{n+1, n-1}] X^n = \frac{dX_n}{dt} \Delta t$$



第3図 地球表面での座標

の関係にある。そこで Matrices 中の0とある所は

$$\Phi_{n+1, n} = 1$$

になる。

マトリクスの中味は周知の物理現象を説明したもの過ぎない。例えば下の如くである。

$$\frac{d}{dt} \Delta p_x = \Delta V_x; \quad \frac{d}{dt} \Delta V_x = g c_x$$

$$\frac{d}{dt} c_x = -\left[\frac{\omega \sin L}{R_e} \right] \Delta p_x + \frac{\Delta V_y}{R_e} - [\omega \sin L] c_y$$

次に Y_n としてはオメガ航法によったとき二個以上のオメガ局からの信号波の到着位相差から求めた船の位置をとる。そしてその要素としては x 軸, y 軸に沿う位置だけをとるとしよう。それならマトリクス M_n は簡単となり

$$M_n = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

となる。(1), (2)式で見ると残るは g_n と $D_n v_n$ とである。ここでは g_n の共分散 [(7)式で要求されている] を求めるのに g_n が x 軸, y 軸方向の擾乱, 速度 $u_x u_y$ から成るとし, かつこれを X のベクトルと対応させるため

$$g_n = [G][u]$$

と表わし

$$[G] = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \quad [u] = \begin{pmatrix} u_x \\ u_y \end{pmatrix} \quad \text{とすると} \quad g_n = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ u_x \\ u_y \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

を得、元来この u_x, u_y は擾乱なのであるから共分散を求めるにあたり、互に時間的にずれのある u の間には平均 power はないものとする考えでゆく。即ち(7)式の Q_n は

$$Q_n = E[g_n \cdot g_n^T] = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & E(u_x^2) & E(u_x u_y) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & E(u_x u_y) & E(u_y^2) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

となり u_x, u_y は独立なので $E(u_x, u_y) = 0$ 、また

$$E(u_x^2) = E(u_y^2) = N\delta(t-S)$$

ここに δ は Dirac の delta 関数で $S=t$ のときのみ、大きさが 1 となる pulse 波形を示す。即ち Q_n は n に無関係の擾乱のパワー N で表わされるとみている。

次に $D_n v_n$ についてはこれが観測 Y_n に伴う雑音であり、そのベクトル表示は右記のとおりであり、上記と同様の表示に従って

$$E(D_x^2) = E(D_y^2) = R\delta(t-S) \\ E(D_x D_y) = 0$$

とする。

これで全部の項目説明はすんだ、いよいよ実際の計算であるが前にも述べた通りこれは机上の試算であり、実

際の船を動かしたわけではない。しかし実況を模擬せんがため航海は慣性機器によることとし

X...Inertial Navigation System (慣性航法)の指示

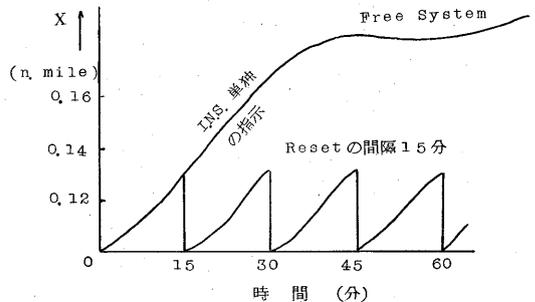
Y...Omega 航法の指示

とし、かつ $N=0.01$ (ft/sec)²/sec.....I.N.S.

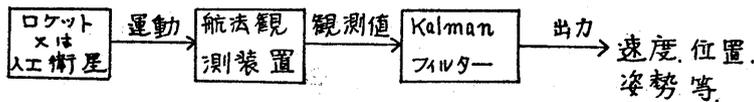
$R=10$ (ft)²/secOmega

と仮定して計算機に入れた結果は第4図の如くになったという。X 対 t の関係で X は実効値で示してある。

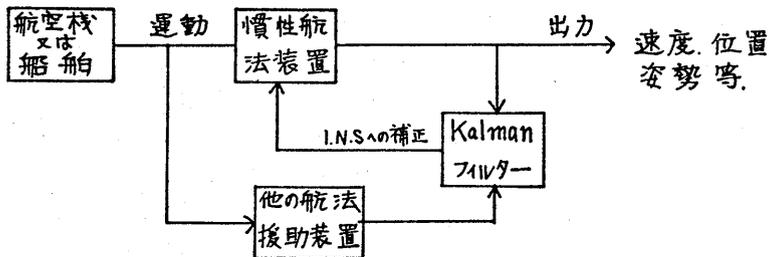
即ち I.N.S. の指示が時間経過と共に大きくなって、それは正しいと見られているオメガ航法の指示 (これは横軸と重なった線をとって) と次第に差が開いてゆく状態を示している。それを 15分毎に Reset してまたくり返しているのである。Reset しなければ Free system とある曲線に X 値がなつてゆく、この図は直接第2図と、対比すべく用意されてはいる、これは第5図の間接フィルタ方式での計算を示したものである。すなわちオメガ system の航路指示と I.N.S. 方式のそれとの差を Kalman に入力として入れ、その出力たる誤差値……これは一応オメガ system を基準と見ての最も確からしい航路の誤差値……を I.N.S. 装置への補正項として入れるようにしている、図はこの Kalman の出力を縦に画いたもので



第4図 オメガ/I.N.S. モード航法における R.M.S. 位置誤差



第5図(a) 直接フィルター方式



第5図(b) 間接フィルター方式

ある。なおこの計算で雑音の値は乱数表を用いて夫々の N は R のまわりにちらばせている。

もっと直接に計算が実際軌道に収斂してゆくことを示した例は氏家、鳥海両氏の論文²⁾に見ることが出来る。ここでは人工衛星の軌道計算へ Kalman フィル法の適用を扱っている。ここでは静止衛星でなく移動衛星を想定、この衛星の位置を勝浦、内の浦、N25°, E140°(硫黄島附近)の三ヶ所で Range and Renge Rate 方式で同時観測してきめ、一方では衛星の動きを Kalman Filter で追いかけている。高度 1,000 km, 10,000 km, 36,000 km と仮定し机上計算、その結果将来 Kalman Filter を搭載すれば、観測所 3ヶ所から同時に見えなくても、追跡出来そうであると推論した。ここで X と Φ とは下記の通り

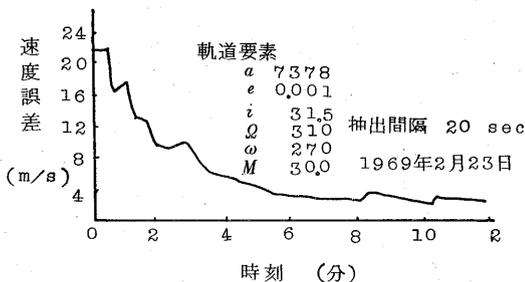
$$\begin{pmatrix} x_{n+1} \\ y_{n+1} \\ z_{n+1} \\ \dot{x}_{n+1} \\ \dot{y}_{n+1} \\ \dot{z}_{n+1} \end{pmatrix} \Phi_{n+1,n} = \begin{pmatrix} f & 0 & 0 & g & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 & g & 0 \\ 0 & 0 & f & 0 & 0 & g \\ \dot{f} & 0 & 0 & \dot{g} & 0 & 0 \\ 0 & \dot{f} & 0 & 0 & \dot{g} & 0 \\ 0 & 0 & \dot{f} & 0 & 0 & \dot{g} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_n \\ y_n \\ z_n \\ \dot{x}_n \\ \dot{y}_n \\ \dot{z}_n \end{pmatrix}$$

初期条件の状態ベクトル $X(t_0)$ は時刻 t_0 での観測値とす

$$X = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{pmatrix} \quad \begin{array}{l} M=1 \text{ 単位行列} \\ D=1 \text{ " } \\ \text{観測誤差は位置 } 0.1 \text{ km, 速度 } 1 \text{ m/s} \\ \text{とする。} \\ \text{初期条件の推定誤差の共分散 } P_0 \text{ は} \\ \text{上記 } 0.1 \text{ km から換算。} \end{array}$$

この実験に n はの一区画は 2 sec (最大 20 sec) ととってあるが Computer の計算所要時間は 0.7 秒であり充分実用になりそう、そして結果を見ると観測開始後初期 Error は急速に減少し約 1~2 分後で位置決定の精度は約 1 km 以内速度決定の精度は約 3 m/s 以内に落ち着くことがわかった(第 6 図参照)。

なお前述 $\phi_{n+1,n}$ の matrices にあらわれる f については Escobal, P.R.; Methods of Orbit Determination, John Wiley & Sons. 1965 にその級数表示がある。



第 6 図 衛星軌道の算定

以上の二例をもって見ても解るように Kalman Filter は他に信頼すべき航路運行状況のデータがあるとき、そのデータの interpolator (内挿)ないしは extrapolator (外挿)として役立つことが実証されようとしている。未だ我国では机上計算のみの域を出てないが何れこれが実用せられるに至るであろう。

なお Kalman Filter を用いて Apollo 計画における月面車の動きにつき軌道計算をするという文献もあり³⁾, また方向違いの仕事であるが、最近我国の電子技術総合研究所では Kalman Filter を利用して音声分析をやろうとしている⁴⁾。音声分析には時間軸上に表わされた波形の Foulter 変換を行なってスペクトルを計算するのであるが、実時間でこれを行なおうとすると色々困難がある。どの位のフレーム時間幅をとってサンプルとするかが問題となるが、この 1 フレームが次の 1 フレームとどんな correlation をもつかもまた重大な問題である。そこで Kalman Filter を用い音声パラメータについて初めのフレームから次のフレームの内容を予測するというような仕事をしようというのが同研究所のニュース本年 270 号に発表された。

結言: Kalman Filter の理論の概要を紹介しかつその適用例を少し挙げたがまだまだ日本ではデータ不足である。雑音を避けることの出来ない現象から主要項目を最尤度 (most likelihood) で引出しこれに予測を兼ねるといのが眼目であって将来は船舶の航行のみならず色々な方面に適用されることであろう。皆が嫌って避けたがる雑音の問題と正面切ってとり組んだ所が面白く有用なのである。

でも当分は船舶でオメガ航法に頼って航行している途中で、それが何かの条件で暫く使用不能になったとき、この Kalman Filter で計算して航行をつづける、それは I.N.S. (慣性航法)との併用によって実行出来ることであるが、この様な使い方が差当って考えられよう。文献的には satellite からの電波を船が受けていわゆる doppler navigation を行なうときこの Kalman Filter を併用するとよいという⁵⁾のものもあるが、これとて我々の手で早く実験して見たいものである。

参 考 文 献

- 1) “Kalman Filter を用いたハイブリッド航法装置の船舶および航空機への応用” 柴田実, 穂坂三四郎 (防衛庁)電子通信学会, 宇宙・航行エレクトロニクス研究会資料, SANE 71-4, 1971年5月28日
- 2) “Kalman Filter 法による人工衛星の軌道計算について” 氏家一彬 (日立製作所), 鳥海良三・山田重雄 (宇宙開発事業団), 大谷健二 (日本ビジネスコンサルタント) 電子通信学会資料, 宇宙・航行エ

- レクトロニクス研究会資料 SANE 70-25, 1971年
1月26日
- 3) “Application of Statistical Techniques to Land-work Navigation” by J. E. Bennet and J. C. Hung. NAVIGATION 17 [4] Winter 1910-1971, 電子航法研究所木村小一氏の訳あり
- 4) “カルマン・フィルタ理論による音声分析法の開発” 電総研ニュース7月 1972年270号
- 5) “An Optimal Inertia/Doppler Navigation System” by R. G. Brown and L. L. Hagerman. NAVIGATION Vol. 16, No. 3, 1969, p. 260
この紹介は森田 清著 “情報と予測” (共立出版) にある。
- 6) “カルマン・フィルターの NNSS への応用” 西周次, 木村小一(電子航法研究所), 電子航法研究所発表会講演概要, 昭和47年4月
[米国海軍の航行衛星(NNSS)]を利用して測位計算にドプラーとカルマン・フィルタとを併用, 研究所自体の位置を半径300m程度の円の範囲に迄確定し得たという報告である。 X のベクトルは
- $$X = \begin{bmatrix} \Delta E \\ \Delta N \\ \Delta F \end{bmatrix}$$
- 左記の如く, 東(西)方向, 南(北)方向の座標とドプラー周波数の変化分をとっている。興味のある実用的な論文であり, 初期値から次第にデータが収斂する様子も示してある。

電波航法研究会正会員名簿 (1)

Corporated Members of JACRAN

安立電気株式会社 ANRITSU Electric Co., Ltd.	〒 106	東京都港区南麻布4の12の20 03 (446) 1111 4-12-20, Minamiazabu, Minato-ku, Tokyo
安立電波工業株式会社 ANRITSU Electronic Works. Ltd.	〒 150	東京都渋谷区恵比寿南1の1の1 03 (719) 3811 1-1-1, Ebisuminami, Shibuyaku, Tokyo
石川島播磨重工業株式会社 ISHIKAWAJIMAHARIMA Heavy Industries Co., Ltd.	〒 100	東京都千代田区大手町2の2の1 03 (270) 6111 2-2-1, Otemachi, Chiyoda-ku, Tokyo
上野タンカー株式会社 UENO Tanker K.K.	〒 100	東京都千代田区霞が関3の2の5 03 (580) 0511 3-2-5, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo
大阪商船三井船舶株式会社 MITSUI O.S.K. Lines, Ltd.	〒 107	東京都港区赤坂5の3の3 03 (584) 5111 5-3-3, Akasaka, Minato-ku, Tokyo
沖電気工業株式会社 OKI Electric, Industry, Co., Ltd.	〒 105	東京都港区芝琴平町10 03 (452) 4511 10, Shiba-Kotohira-chō, Minato-ku, Tokyo
沖船用機器株式会社 OKI Hakuyo Kiki Co., Ltd.	〒 221	横浜市神奈川区栄町1-2 045 (441) 8561 1-2, Sakae-machi, Kanagawa-ku, Yokohama-shi
川崎汽船株式会社 KAWASAKI Kisen Kaisha, Ltd.	〒 100	東京都千代田区内幸町2の1の1 03 (506) 2133 2-1-1, Uchisaiwai-chō, Chiyoda-ku, Tokyo
協立電波株式会社 KYORITSU Dempa, Co., Ltd.	〒 192	八王子市石川町2968の3 0426 (42) 9211 2968-3, Ishikawa-chō, Hachioji-shi
株式会社 光電製作所 KODEN Electronics, Co., Ltd.	〒 141	東京都品川区上大崎2の10の45 03 (441) 1131 2-10-45, Kamiosaki, Shinagawa-ku, Tokyo
国際電気株式会社 KOKUSAI Electric, Co., Ltd.	〒 190-11	東京都西多摩郡羽村町神明台2の1の1 0425 (51) 6111 2-1-1, Zinmyodai, Hamura-machi, Nishitama-gun Tokyo
三光汽船株式会社 The SANKO Steamship, Co., Ltd.	〒 100	東京都千代田区有楽町1の11の1 03 (216) 6261 1-11-1, Yuraku-chō, Chiyoda-ku, Tokyo
三波工業株式会社 SAMPA Kogyo K.K.	〒 231	横浜市中区かもめ町40番地 045 (621) 3841 40, Kamome-chō, Naka-ku, Yokohama-shi

経緯度系と時刻系

海上保安庁水路部* 進 士 晃

Geodetic Systems and Time Systems

Hydrographic Department

Akira M. SINZI

Astronomical latitudes and longitudes for different places are entirely independent to each other, because these latitudes and longitudes indicate angular relations between directions of plumbline and the earth's rotation axis. Geodetic latitudes and longitudes are constructed on a reference spheroid of the earth by extending the triangulation nets on its surface. Each geodetic system has excellent accuracy of about 10^{-5} ~ 10^{-6} within its system but gaps of about 1 km exist between the geodetic systems in the world. These gaps are going to be distinguished by means of satellite geodesy, an example of which is the "Mercury Datum". Celestial navigation gives the astronomical position while electronic navigation aids provide geodetic position.

Universal Time (UT) is an angular measure of the earth's rotation and has been employed in the daily life. However, UT has irregular rate due to the irregularity of the earth's rotation. Ephemeris Time (ET) is the independent variable t in the Newtonian mechanics and is practically defined by the revolution of the earth around the sun, supplying the uniform rate of time. Among the classical methods of navigation, the methods of "longitude by chronometer" and "position line" employ UT, while the method of "lunar distance" employs ET.

Atomic Time (AT) is constructed by the accumulation of time interval which is provided by the atomic standard of frequency, i.e. atomic clock. Conference General des Poids et Mesures (1967) adopted the definition of unit of time by the frequency of Cs^{133} . UT and ET provide the epoch of time and AT provides interval of time.

Standard waves of 5MHz-series and VLF have functions to supply accurately the standard of frequency and epoch

of time. In order to compromise these requirements, Coordinated Universal Time (UTC) has been introduced by the Comité Consultatif International de Radio-communications. Old UTC system in 1961-71 had frequency off-set and step adjustment of time. New UTC system after the beginning of 1972 has no frequency off-set and epoch of time is adjusted by putting "leap second" at June 30 and/or December 31 24^h UTC so as to keep $|UTC-UT| < 0.7$ sec. Information of UTC-UT in the unit of 0.1 sec, called DUT1, is disseminated by emphasizing some second markers of time signals. But the practical usage of the dissemination of DUT1 is quite questionable.

経緯度と時刻とは、地球上におけるわれわれの行動を表現する基本的な座標系であり、天文学・測地学・物理学等の多くの研究の成果として設定されたものである。しかし、これら経緯度あるいは時刻には、いろいろな種類があり、互いに関連しながらそれぞれの用途に供されている。以下、その代表的なものについて解説する。

I. 経緯度系

一般に緯度とは、その地点において地球表面に立てた垂線と赤道面との交角のことで、経度とはその地の子午線を含む平面すなわち子午面とグリニジ（「グリニッチ」は誤まり）子午面との交角のことである。問題は、この垂線と子午面を如何に採るか、ということである。

1. 天文経緯度

i) 定義

この場合の垂線とは、その地点でおもりの下がる方向つまり鉛直線であり、これは重力の向きを示す、重力とは地球の質量による引力と地球自転による遠心力のベクトル和である。地球自転の反映として天球は諸天体をのせたまま東から西へ回転し、各天体はそれぞれ円弧を画

* 東京都中央区築地 5 (5, Tsukiji, Chuo-ku, Tokyo)

く。これらの円弧の中心として天の北極と南極の位置が定まるが、これは地球自転軸と天球との交点である。この地球自転軸に垂直な平面が赤道面である。天球は半径を無限大に採るから、赤道面は必ずしも地球の中心を通る必要はない。鉛直線と天球との交点を天頂・天底という。天頂と天の両極を通る大円がその子午線であり、これを含む平面が子午面である(第1図)。

それで、天文緯度はこのような鉛直線と赤道面との交角であり、天文経度はその地の子午面とグリニッジ子午面との交角である。すなわち天文経緯度は鉛直線と地球自

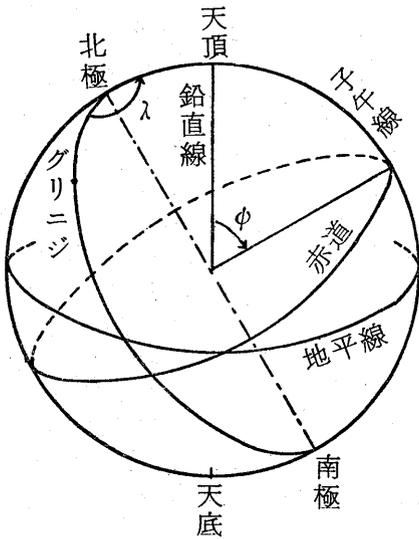
転軸との間の角度関係を示すに過ぎず、したがって各地の天文経緯度は互いに独立である。それが地球上の各地点の位置の表示に用いられるのは、たまたま地球の形が球に近く、また密度分布が中心対称に近いからにほかならない。

この場合の地球の表面とは、各地で鉛直線に垂直であるから、地球の重力による等ポテンシャル面であり、とくに平均海面と一致するものをジオイドといい、力学的に地球の形を表現するのに用いられる。これは回転楕円体による近似に対して約 80メートル以内の凸凹がある(第2図)。一般に地上で水平を得るのに、気泡水準器を用いるが、この「水平」とは地球重力の等ポテンシャル面のことである。天文航法では、水平線を基準として測角するから、その与える位置は天文経緯度である。

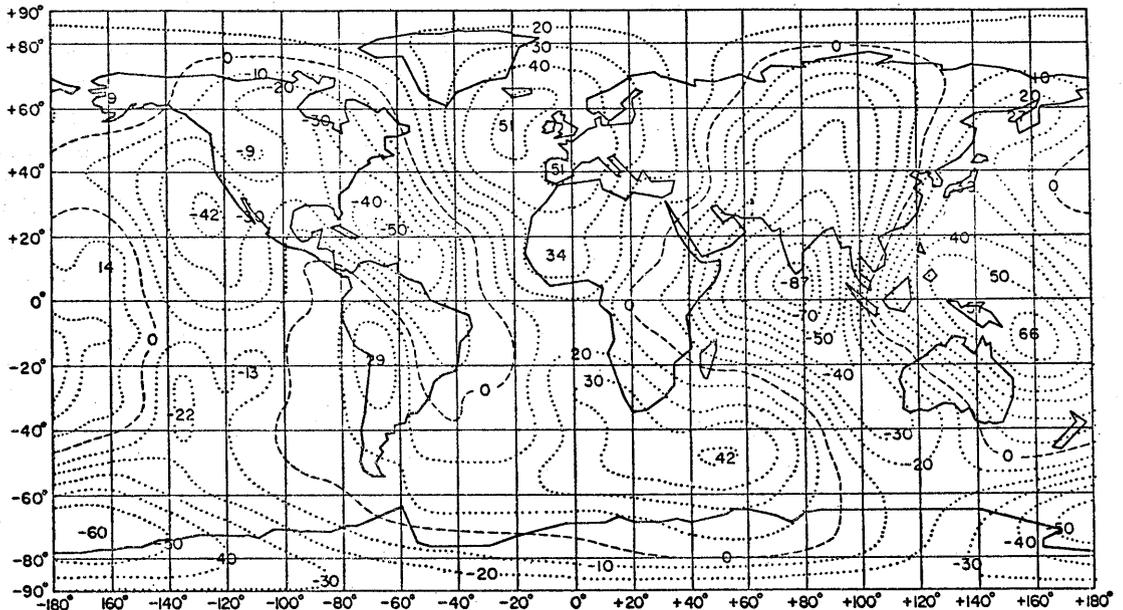
ii) 天文経緯度の決定

天球上の天体の位置つまり高度と方位は、地球自転の反映で刻々と変わり、また観測地が変われば変わる。つまり天体の高度と方位は、観測点の経緯度と時刻の関数である。それで、独立した2個の天体位置(通常は高度)観測によって経緯度は決定される。天文航法の原理にほかならない。たとえば、子午線正中時の高度と赤緯(曆に掲げてある)との加減算から緯度が得られ、正中時刻とグリニッジ正中時(これも曆から求められる)との差を $15(=360^\circ/24\text{時})$ 倍すると経度が得られる。

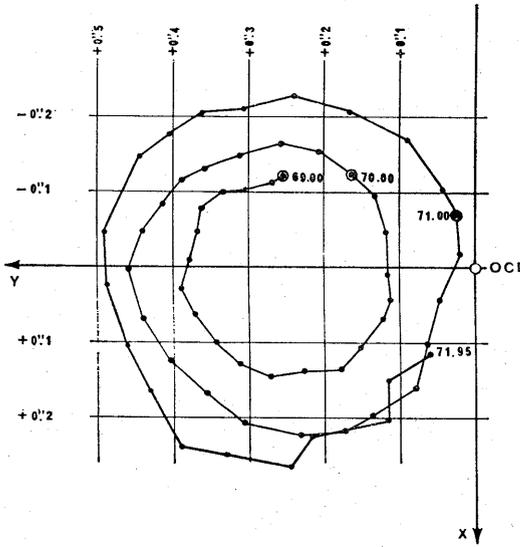
観測には、経緯儀・子午儀・定高度儀・写真天頂筒等が用いられ、時刻は経緯儀あるいは標準電波やロランCの信号によって測定する。



第1図 天文経緯度



第2図 ジオイド数値は楕円体表面に対する凸凹(メートル単位)



第3図 最近の極運動
地球表面上、北極付近における実際の北極の移動状況 (0.1 は約 3.1 メートル)

iii) 天文経緯度の変動

鉛直線あるいは地球自転軸の向きが変われば、当然天文経緯度は変動する。前者は地殻変動や地球潮汐等が原因であり、後者は極運動と呼ばれる現象である。これは地球の自転軸と慣性主軸が一致しないために起るもので、北極の位置は、約14箇月周期で反時計まわりに、地球表面上半径 10 メートル (0.3) 以下の円を画く。

今世紀初頭の極の平均位置を原点として、グリニジ方向に x 軸、西経 90° 方向に y 軸をとり、瞬間極の位置を角度の秒単位で表わせば(第3図)、この結果、緯度 ϕ 、経度 λ の地点について

$$\Delta\phi = \lambda \cos \lambda + y \sin \lambda$$

$$\Delta\lambda = \frac{1}{15} (-\lambda \sin \lambda + y \cos \lambda) \tan \phi$$

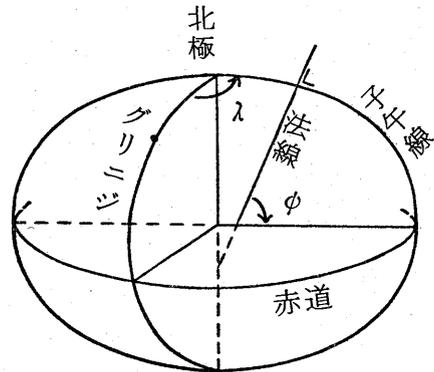
の変動を起こす。この式で解るように、赤道では経度変化は 0、つまり経度は不変である。したがって経度の原点としては、グリニジそのものではなく、グリニジ子午線と赤道との交点が採られている。 x, y の値は、水沢にある国際極運動事業中央局において、世界各地の観測値を整約して発表される。

2. 測地経緯度

i) 定義

地球の形は楕円体で近似される。この場合、短軸 c は自転軸に平行であり、長軸 a, b (通常は $a=b$ とする) は赤道面と一致する。短軸を含む平面が子午面である。

測地緯度とは、楕円体上で与えられた点に立てた法線と赤道面との交角のことであり、測地経度とは、その点



第4図 測地経緯度

を含む子午面とグリニジ子午面との交角のことである。

ii) 測地経緯度の決定

まずその地域に最も適合すると思われる楕円体を選定する、これを準拠楕円体という。つぎに、この楕円体の表面に測量の基準点つまり測地原点と、そこから他の目標を見た方位とを記入する。原点経緯度と原方位としては、通常(他に方法がないので)天文経緯度・天文方位を採る。原方位を記入することは、楕円体の短軸と地球自転軸とを平行ならしめることを意味する。以上の操作によって地球と楕円体との位置関係が確定する。

そこで地上の三角測量の結果による三角網を楕円体の表面にはりつけると、つぎつぎに三角点の経緯度が定まり、これにより地図が作製される。

ロランA, ロランC, デッカ, オメガ, NNSS等、電子航法システムの位置はすべて準拠楕円体の表面上で計算される。すなわち、これら航法システムによる経緯度はすべて測地経緯度である。

最近では、テルロメータ・ジオジメータ等の電子測距装置の開発に伴い、三角測量に代わって辺長測量がよく用いられる。また人工衛星を一種の三角点と見なす立体三角測量により、三角測量では届かない離島の位置や大陸間の位置の結合が盛んに行なわれるようになっていく。たとえば、水路部の観測によって、鳥島は1,800メートル西へ、父島は600メートル東へ、海図の位置よりずらすべきことが解った。

天文経緯度と測地経緯度との差を鉛直線偏差という。つまり、鉛直線と楕円体法線との向きの差である。これには、採用楕円体や原点経緯度採用値が適当でないことによる系統的なものと、ジオイドの凸凹にする局所的なものがある。大洋底から急に突出した孤島では、後者による値が角度の分に達することがある。

iii) 測地系の現状

現在、世界で採用されている測地系のおもなものを第1表に示す。ここに上半の甲類は古典的な地上測量から

第1表 おもな測地系

	楕円体		a	$1/f$	測地系	原点
甲類	Everest	1830	6,377,276 m	300.80	Indian	Kalianpur
	Bessel	1841	7,397	299.15	東京	東京麻布
	Clarke	1866	8,206	294.98	N. American 1927	Meades Ranch
	Clarke	1880	8,249	293.47	Cape	Buffelsfontein
	国際	1924	8,388	297.00	Argentinian European 1950 S. American	Campo Inchauste Potsdam La Canoa
	Krasovsky	1940	8,245	298.3	Pulkovo 42	Pulkovo
乙類	Fischer	1960	8,166	298.3	“Mercury”	
	Kaula	1964	8,160	298.25	I.A.U. 1964, I.U.G.G. 1967	
	Fischer	1968	8,150	298.3	“modified Mercury”	
	Veis	1967	8,142	298.255	“SAO-C7”	

$$f=(a-c)/a$$

第2表 測地系の系統差

	ΔX	ΔY	ΔZ
“Mercury”-東京系	+158 m	-648 m	-613 m
“SAO-C7”-東京系	+141	-511	-690

第3表 東京天文台の位置

	Δp	$\Delta \lambda$	Δh
“Mercury”-東京系	+ 7'91	-15'60	48.24 m
“SAO-C7”-東京系	+11.96	-11.88	33.99

求めたもので、とくに Krasovsky 1940 は三軸不等としている。乙類は人工衛星の位置の幾何学的な観測および軌道の力学的解析から得られた結果を採り入れたものであり、このほか、つぎつぎに新しい値が発表されており、長軸は西経 30° 付近の方向にあって、 b 軸より約 1 km 長いようである。Mercury 系はアメリカ海軍による NNSS, ロラン C, オメガ等、電子航法システムに広く用いられている。

日本の測地系はベッセル (1841年) の楕円体を用い、原点は東京麻布 (旧水路部観象台、のちに東京天文台) にある。その経緯度および方位は、

$$\varphi = +35^{\circ}39'17''.5148, \quad \lambda = -139^{\circ}44'40''.5020$$

$$Z = 156^{\circ}25'28''.442 \quad (\text{鹿野山の方位})$$

である。この原点から出発した測地三角網、つまり 5 万分の 1 の地形図上の位置の精度は 5×10^{-6} 以内、すなわち北海道あるいは九州の位置において約 5 メートル以内である。

第1表甲類の多くは、日本の測地系と同様の高い精度を持つが、これら相互の間には数 km にも及ぶ食い違いがある。たとえば、日本のロラン A 海図とアメリカのロラン C 海図の間にも約 1 km の差が見られる。これらの測地系を結合させる試みが乙類の衛星測地である。その例を第2表に示す。ここに XYZ 座標は地球中心を原点とし、Z 軸は北極方向、X 軸は緯度 0°・経度 0° の方向、Y 軸は緯度 0°・経度 90° の方向に採る。この表が

ら東京天文台 (三鷹) の緯度・経度については第3表のような違いを生ずる。

II. 時刻系

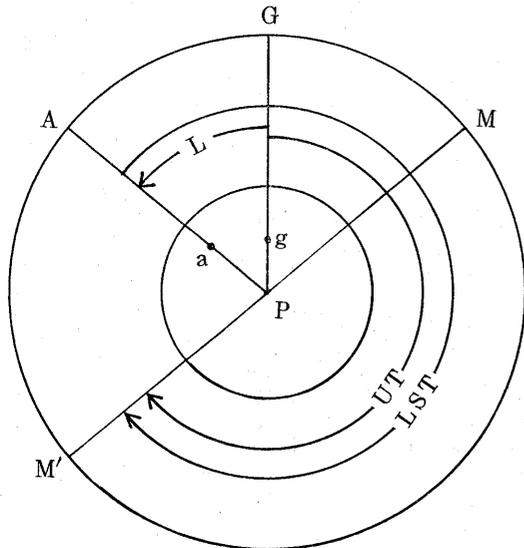
時の経過は周期的現象によって測定される、この現象として、月のみち・かけ等は別にして、科学的に用いられるのは、地球の自転・地球の公転・原子の固有振動の3種であり、それぞれに応じて時刻系が設定されている。

1. 世界時 Universal Time, UT

i) 定義

人類はその発生以来の経験から、意識しないまでも昼夜の交代の規則性を知覚し、これを生活の根拠とした。昼夜の交代とは、太陽に対する地球自転の反映である。太陽が南がわで子午線を経過する時を 12 時、北がわで (多くの場合地平線下で) 経過する時を 0 時とし、他の時刻も同様に、太陽が子午線からどれだけ離れているか、その角度によってその時刻が与えられる。これを視太陽時という。

しかし天球上における太陽の運動速度は地球の自転軸に対して一定ではない、その理由は (イ) 太陽は赤道上进行せず、これと約 23°5' 傾いている黄道上进行すること、(ロ) 黄道上の速度は、地球に近いときに早く、遠いときに遅いこと (ケプラーの第2法則) である。したがって視太陽時は一様には流れない、それで、赤道上进行して均速に進みながら、かつ太陽とできるだけ離れないよう



第5図 世界時 UT と標準時 LST

小さい円は地球の赤道
 大きい円は天の赤道
 P:北極
 PG:グリニジ子午線
 PA:標準子午線(東経L)
 M:平均太陽

な平均太陽という天体を仮想すれば、これと子午線との角度関係によって時刻系が得られる。これを平均太陽時という。とくにグリニジ子午線に対する平均太陽時を世界時 UT と呼ぶ、俗にグリニジ標準時 GMT と呼ばれるものである。ある地域の標準子午線に対する平均太陽時が地方標準時 LST であり、標準子午線の経度を 15 ($=360^\circ/24$ 時)で割った値を L とすれば(第5図)

$$LST = UT \pm L \quad (\text{東経} +, \text{西経} -)$$

ii) UT の決定

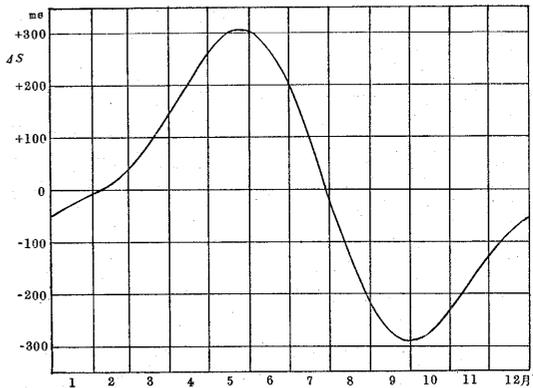
太陽は明かる過ぎるので、その位置を精密に観測することは難しい。一方、平均太陽と恒星との位置関係は理論から厳密に計算できて、曆に掲げてある。それで UT の決定には恒星の子午線正中時の観測を用いる。この場合、観測点の経度(を 15 で割った商)の加減が必要である。この観測には写真天頂筒が多く用いられ、一夜約 20 個の観測から決定される UT の精度は約 3ms である。

iii) UT の種類

(イ) 地球自転の不整

もし地球自転速度が一定であるならば、UT は一様な時の流れを与えるはずである。しかし地球自転速度に不整のあることが、今世紀前半において明らかとなった。

まず見かけの現象として極運動の影響がある。上述のように極が移動すれば各地点の経度は変わる。したがって各地における観測から、その観測点の経度を補正して



第6図 地球自転速度の周期変化(数値は UT の進み(-), 遅れ(+)を示す)

求める UT の値も当然変わる。

本質的な変動には、① 主として狭い海峡における潮流と海底との摩擦による自転の減速がある、この結果、1日の長さが100年につき約 1ms 減少する。つぎに② 周期変動として、気団の移動による年周変化および太陽・月の引力による地球の変形を原因とする半年周変化がある。これにより1日の長さは最高 0.7ms 伸縮し、その累積により時刻に 30ms の遅速を生ずる(第6図)、このほか③ 地球の流体核と外殻との電磁流体力学的な相互作用によって自転速度に不規則な変化を生ずる。

(ロ) UT0, UT1, UT2

各地の天文台で恒星の正中時観測から求めた UT を UT0 と称し、これに経度変化 $\Delta\lambda$ の補正を加えたものを UT1, さらに自転速度変動のうち、その量が比較的解っている周期変動 ΔS を補正したものを UT2 と称する。

$$UT1 = UT0 + \Delta\lambda, \quad UT2 = UT1 + \Delta S$$

$\Delta\lambda$ の値は天文経緯度の項で述べたように

$$\Delta\lambda = -\frac{1000}{15} (x \sin \lambda - y \cos \lambda) \tan \varphi$$

であり、 ΔS の値としてはバリにある国際報時局 BIH が次の式を採用している。(第6図)

$$\Delta S = +22 \sin 2\pi t - 12 \cos 2\pi t - 6 \sin 4\pi t + 7 \cos 4\pi t$$

ここに t は年初から起算した年の端数であり、また $\Delta\lambda, \Delta S$ はいずれも ms 単位である。

2. 暦表時 Ephemeris Time, ET

i) 定義

UT2 には地球自転速度の長年減速・不規則変化が含まれており、一様な時の流れを与えない、これに代わるものとして導入されたのが暦表時である。

太陽・月・惑星等、太陽系内の天体の運動は、相対論による僅かの効果を別として、ニュートン力学に厳密に従っている。この場合、運動方程式の解としての天体の

位置は、時刻 t の関数として、たとえば次の形で表わされる。ここに L は適当な座標による天体の位置とする。

$$L(t) = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3t^3 + \dots$$

時刻 t_1 には、この天体の位置は

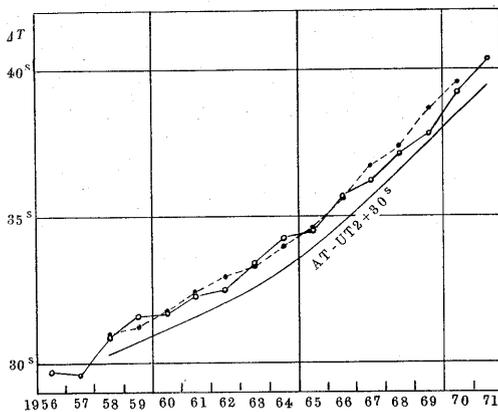
$$L(t_1) = a_0 + a_1t_1 + a_2t_1^2 + a_3t_1^3 + \dots \equiv L_1$$

となる。このようにして計算される天体の位置を掲げたものを Ephemeris (天体暦) という、水路部刊行の天体位置表がその例であるが、Ephemeris は必ずしも印刷された書籍形式とは限らず、例えば磁気テープに収めたものでも良い。それで、逆にこの天体の位置を観測して、それが L_1 であるならば、その観測時刻は t_1 であるはずである。この原理で与えられる時刻が暦表時 ET であり、ニュートン力学における独立変数 t は一様に流れるものであるから、ET の流れは原理的には一様である。

具体的には ET は太陽の位置によって定義されている。この場合、上の $L(t)$ の式で t の単位は 1 年とし、係数 a_0, a_1, a_2, \dots は過去の観測結果から決定された数値であり、 $L = a_0$ の時刻を以て 1900 年の年初とし、また $(dL/dt)_{t=0}$ の逆数から時間の単位としての秒を定義している。つまり 1900 年に初の 1 太陽年の秒数から数值的に定めたものである。これは国際天文学連合 (IAU) の 1952・1955・1958 年の総会で採択され、またこの秒の単位は 1960 年の国際度量衡総会 (CGPM) の採択を経て、わが国の計量法もこれに改められた。

ii) ET の決定法

ET の決定には、距離が近いために見かけの運動の大きい月の位置の観測を用いる。これには月の子午線経過、または月が星をかくす星食という現象を観測する。いずれの場合でも恒星の位置を基準として月の位置が求められ、その観測時刻は後述する報時信号で記録され、



第7図 $\Delta T = ET - UT$

白丸は水路部における星食光電観測
 黒丸はワシントン海軍天文台における
 子午線通過観測
 斜線は AT (BIH) との関係

これは UT である。ET-UT を ΔT と記す。

水路部では、白浜・下里・倉敷の3観測所で星食観測を定期的に行ない、年間約 600 のデータを得ている、これは全世界で得られるデータの恐らく 1/3 を占め、かつ精度の高い光電観測を含んでいる。この成果を第7図に示す。これから解るように、1900年以來、現在までに地球の自転は約 40 秒遅れている。つまり、もし地球の自転速度が 1900 年以來、一定に維持されてきたならば、UT は現在の UT より 40 秒進んでいるはずである。自転の遅れは、この数年かなり大きく 1 年に約 1 秒に達する。

宇宙船アポロによって、月の表面にレーザ反射器が設けられた。これによる月までの距離の測定が経常化すれば、暦表時決定の精度は飛躍的に向上する。

古典的な天文航法を原理的に見ると、経線儀経度法と位置の線航法は UT を使っているのに対して、月距離法したがって天測暦・天測略暦等、航海用の暦 (Almanac) は ET を使っている。または UT を用いている。月と恒星の角距離が 0° となる星食の観測は、月距離法の極端な場合である。

3. 原子時 Atomic Time, AT

i) 定義

アンモニア吸収型に始まる原子周波数標準は、 Cs^{133} ビーム発振器、 Rb^{87} メーザ、 H^1 メーザ等、高精度、高安定のものがつぎつぎに開発され、他の計測技術の精度がせいぜい $10^{-6} \sim 10^{-7}$ であるのに対して、 $10^{-13} \sim 10^{-14}$ という驚くべき精度を挙げている。これら原子周波数標準の周波数が確定すれば、逆にその振動を数えることによって時間間隔が得られ、適当に時刻の起点を与えれば時刻系が確定する。原子周波数標準が原子時計と呼ばれる所以であり、このようにして設定される時刻系を原子時 AT という。

CGPM は 1967 年に、暦表時による秒の定義を廃してつぎの決議を採択した。

「秒は Cs^{133} 原子の基底状態の 2 つの超微細構造準位間の遷移に対応する放射の 9,192,631,770 周期の継続時間とする」

わが国の計量法も昭和 47 年 5 月の改正でこれに従った。上記の数値つまり Cs^{133} の周波数は、アメリカ海軍天文台のアルコピットとイギリス国立物理研のエッセンが、1954~58 年の月の位置から求めた暦表時間隔と Cs^{133} の振動とを比較して求めた値である。すなわち 1 原子秒とは実は 1 暦表秒のことである。

原子時の起点として、1958 年 1 月 1 日 0^h UT が同時刻の AT とされている。

ii) AT の比較

世界各地の原子時計で維持されている AT は次の方法で相互に比較される。(イ)比較用の原子時計を飛行機で運搬し各地で比較する、(ロ)原子時の信号を人工衛星経由で交換する、(ハ)ロラン C のパルスまたは VLF の 0 位相を媒介にする、(ニ)テレビの水平同期パルスを媒介にする。比較精度は $\pm 1 \sim 0.1 \mu s$ 程度であるが、昨年アメリカの NASA とスミソニアン天文台間で行なった人工衛星 ATS 1 号および 3 号による実験では $\pm 0.01 \mu s$ を得ている。

このような比較の結果を総合して BIH が国際原子時系 IAT を決定しており、これが AT の公式値である。第 7 図の曲線はこの AT と UT2 との差である。これとは別個に、アメリカ海軍天文台は A.1 という原子時系を設定し、ロラン C・NNSS・オメガ等の電子航法システムは、この A.1 で維持されている。ロラン C のパルスが A.1 の整数秒と一致する時刻は、あらかじめアメリカ海軍天文台から公示されている。たとえば北太平洋チェーンの発射繰返し周期は $99,700 \mu s$ であるから 16 分 37 秒ごとにパルスと AT 秒が同期する。また、A.1-IAT は約 34.38 ms である。

水路部の星食観測から求めた ET と BIH による AT との差は、 T を西暦年数として

$$ET - AT = 30^{\circ}69 - 0^{\circ}002(T - 1958.0) \pm 0.08 \pm 0.009 \text{ (p.e.)}$$

となる。1 年につき 1 ms の遅れは Cs^{133} の周波数については $+0.3 \text{ Hz}$ に相当するから、上の結果は Cs^{133} 周波数の公式採用値を支持している。またマルコピッツとエッセンがこの周波数値を求めたときの ET の精度が $\pm 20 \text{ Hz}$ であったことに比べて、上の精度は格段の向上である。

アメリカとイギリスでは $ET = AT + 32^{\circ}15$ を採用している。上記 $30^{\circ}69$ との差のうち $1^{\circ}34$ は使用した天体の座標系の違いに起因するものであり、残りの $0^{\circ}12$ は日本の測地系の誤差によると考えられる。

4. UT・ET・AT の意義

UT は子午線と天体の角度関係から与えられる幾何学的な量であるのに対して、ET は地球の公転に基づく力学的な量である。このように設定の原理は根本的に違うが、いずれも時刻を与え、それから時間間隔が得られる。これに対して AT は時間間隔を与え、これを積算して時刻が得られることに留意されたい。このことは、古典的な天文航法が正しい時刻を要求して経線儀その他の保時技術が発展したことに対して、現代の電子航法システムはすべて高精度の周波数(すなわち時間間隔)発振器の進歩に伴って開発されたことに応じている。

また相対論からいえば、ET は座標時に、AT は固有

時に対応する。つまり原子時計の周波数は、それが置かれた場所の重力ポテンシャルによって変わる。上記 Cs^{133} の採用周波数は平均海面における値であって、高度が 1 km 上がるごとに周波数は 10^{-13} だけ減少する。また地球の公転軌道は楕円であるから、太陽の重力ポテンシャルは年周的に変化し、AT に $\pm 2 \text{ ms}$ 程度の年周変化を生ずる。しかし、これは地球上のすべての時計に共通であるから、これを検出するには、ET(現在はそれだけの決定精度はないが)との比較によるほかはない。このように普遍的な時刻を与える ET の意義は大きい。

一方、昼夜の交代は、人類が永年その生活の根拠としてきたことを別にしても、測量や天文航法は地球自転を利用しており、UT を軽々しく捨て去ることはできない。

5. 協定世界時 Coordinated Universal Time, UTC

i) 標準電波

標準電波は、(イ)周波数の精確な標準の供給、(ロ)日常生活の基準としての正確な時刻の供給、という 2 つの使命を持っている。しかし UT は一様に流れないから、この(イ)(ロ)の要求は本質的に相容れない、この妥協の産物が協定世界時 UTC である。

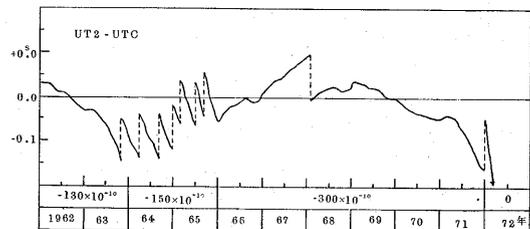
標準電波には 5 メガ系つまり 2.5, 5, 10, 15, ... MHz と VLF とがある。前者の例としては日本の JJY、アメリカの WWV, WWVH、上海の BPV 等があり、後者には日本の JG2AS (これは LF)、イギリスの GBR、アメリカの WWVL 等がある。この周波数は時刻を与える秒信号と同じ発振器から作られ、周波数偏差は 10^{-10} (JJY では 10^{-11}) 以内である。

上記(イ)(ロ)の矛盾を解決するには、つぎの 2 つの方法がある。① そのときの地球自転速度に適合するように周波数を変える——これをオフセットという。② 周波数を一定に保つために時刻の呼称をずらせる——これを段階調整という。

ii) 旧 UTC 系——1971 年末まで

これは CCIR の 1963 年の決議によるもので、上記①②を折衷した方式である。

① 周波数オフセットとして $f = f_0(1 - 50n \times 10^{-16})$



第 8 図 旧 UTC の経過: UT2-UTC
たての断線は段階調整
下方の数値はオフセット値

とし、 n は整数で年間は一固定に保つ、ここに f_0 は Cs^{133} の公式周波数である。

② 時刻の段階調整として、UT2 と UTC との差が $0^s.1$ を越えないように、必要に応じ月の初頭に UTC を $0^s.1$ ずらせる。

この実施の状況を第 8 図に示す。图中、たての断線は $0^s.1$ の段階調整である。1964~65年は n の採用値が適切でなかったため段階調整がひん繁に行なわれた。

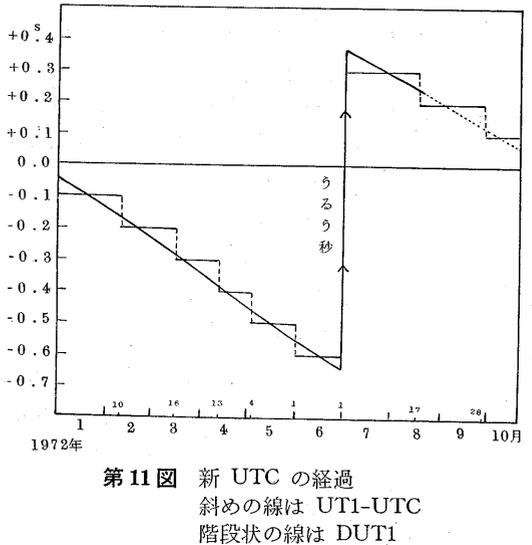
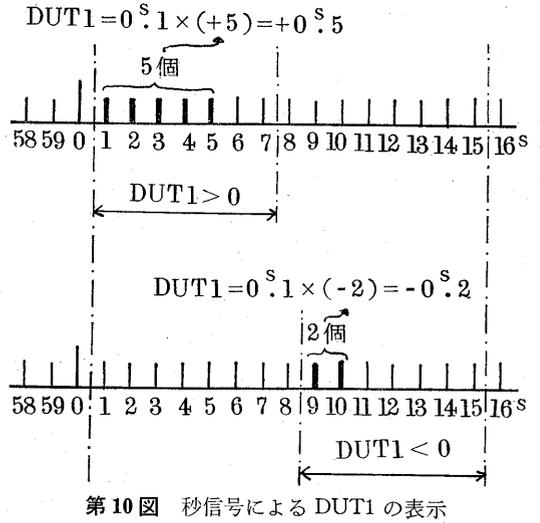
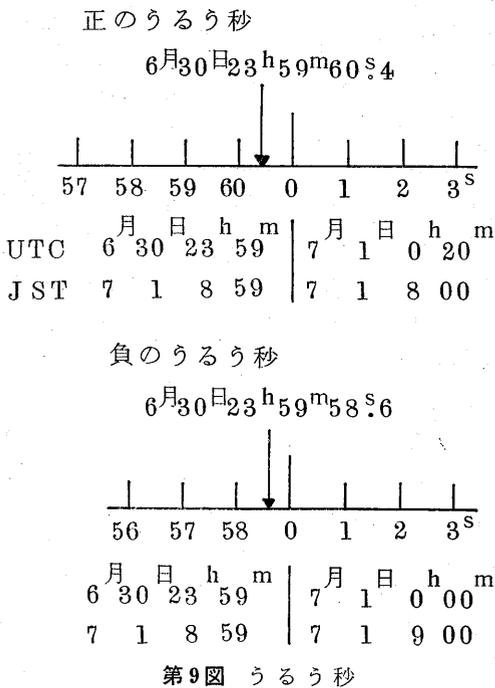
iii) 新 UTC 系——1972年初から

旧 UTC 系は、周波数が年間は一固定であるとしても、オフセットが施してあり、周波数を利用する部門にとってはきわめて不便なものであった。それで新しい方式が IAU の 1970 年の総会決議を経て 1971 年 CCIR で採択され、1972 年々初から実施することとなり、IMCO もこれを受入れた、その骨子はつぎのとおりである。

① 周波数オフセットを全廃し、定義通りの 1 原子秒による周波数を発射する。

② 時刻の段階調整量を 1^s とし、UTC と UT1 との差が $0^s.7$ 以内に保たれるように、必要に応じ 12 月 31 日または 6 月 30 日の UTC 24^h に実施する。これを「うるう秒」という(第 9 図)。

この $0^s.7$ という許容値は、 1^s では大き過ぎるといった感じで定められたもので、具体的な根拠はない。また旧 UTC は許容値の基準を UT2 としていたのに対して新 UTC では UT1 としたのは、測量や天文航法が地球自



転の実際の角度を使っていることによる。UT2 は UT1 をより一様にするために人為的に加工したものである。

③ UTC と AT との差を整数秒とする。1961 年末には $AT - UTC = 9^s.8922423$ となるので、新 UTC の導入に際して UTC をさらに $0^s.1077577$ 遅らせて、 $AT - UTC = 10^s$ とした。以後はうるう秒が加減されるだけであるから、 $AT - UTC$ は常に整数秒となる。

④ $UT1 - UTC$ を $0^s.1$ まで表わした値を DUT1 とし、この値を特殊化された秒信号で供給する。その方法を第 10 図に示す。すなわち毎分 $1 \sim 7^s$ の秒信号は DUT1 が正のとき、 $9 \sim 15^s$ の秒信号は負のときに用い、その間の特殊化された個数に $0^s.1$ を乗じた値が DUT1 である。JJY では通常の秒信号の発射継続時間が 5 ms であるの

に対して、特殊化信号の継続時間は 45ms で容易に数えることができる。

うるう秒の設定は少くとも 8 週間前に、また DUT1 の値と変更期日は少くとも 1 月前に、BIH が決定・公示する。今年 (1972 年) 1 月、新 UTC 施行以来の経過を第 11 図に示す。横軸の上に記した数字は DUT1 を変更した日である。7 月 1 日に $+1^{\circ}0$ のうるう秒が設けられ、 $-0^{\circ}7$ となるべき DUT1 は $+0^{\circ}3$ となった。

東京天文台の観測による UT1-UTC の詳しい値 (ms 単位) は同台の Time and Latitude Bulletins に約 4 箇月遅れで発表され、また UT1-UTC その他 UT, AT

に関する確定値は BIH の年報として翌年 6 月に発表される。UT1 の詳しい数値を必要とするのは、ほとんど事後処理の場合であるから、DUT1 の効用について筆者は疑問に思う。

ロラン C・NNSS・オメガ等は、前述の A.1 時系で維持されているから、うるう秒の設定によっても発射に不連続は生じない。しかしオメガの発射は 10 秒周期で 1 秒づつ 8 局に割当てられ、これは UTC の時刻で表示されているから、うるう秒が設けられると、1 秒づつ各局の発射時刻がずれる。

会告: 海上保安庁よりつぎの件の公報がた依頼がありました。

UTC のうるう秒挿入について

パリにある国際報時局 BIH は協定世界時 UTC の正のうるう秒を今年末に設ける旨発表した。すなわち

1972 年 12 月 31 日 $23^{\text{h}}59^{\text{m}}59^{\text{s}}$ UTC のつぎに
 " $23^{\text{h}}59^{\text{m}}60^{\text{s}}$ が挿入され、

そのつぎが

1973 年 1 月 1 日 $00^{\text{h}}00^{\text{m}}00^{\text{s}}$ となる。

(日本時 JST では 1973 年 1 月 1 日午前 9 時)。

標準電波を含むすべての報時信号はこの調整に従う。しかし原子時で規制されているロラン C, NNSS, オメガの発信に不連続はない。したがってオメガの発信割当ては、さる 7 月 1 日 (日本時) の第 1 回のうるう秒の設定により、A 局 (ノルウェー) が毎分 59, 09, 19, 29, 39, 49^s に始まっていたが、1 月 1 日午前 9 時 (日本時) からは、毎分 58, 08, 18, 28, 38, 48^s に始まる。ロラン C パルスと UTC との同期時刻については近日中にアメリカ海軍天文台から発表される。

電波航法研究会正会員名簿 (2)

Incorporated Members of JACRAN —continued—

ジャパンライン株式会社 JAPAN LINE, Ltd.	〒 100	東京都千代田区丸の内 3 の 1 の 1 03 (212) 8211 3-1-1, Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo
島田理化学工業株式会社 SHIMADA Physical & Chemical Ind. Co., Ltd.	〒 182	東京都調布市柴崎 2 の 1 の 3 0424 (83) 2111 2-1-3, Shibazaki, Chofu-shi, Tokyo
昭和海運株式会社 SHOWA Shipping, Co., Ltd.	〒 103	東京都中央区日本橋室町 4 の 1 03 (270) 7211 4-1, Nihonbashi-muromachi, Chuo-ku, Tokyo
新和海運株式会社 SHINWA Kaiun Kaisha, Ltd.	〒 104	東京都中央区京橋 1 の 3 新八重州ビル 03 (567) 1661 1-3, Kyobashi, Chuo-ku, Tokyo
水洋会 SUIYOKAI	〒 106	東京都港区南麻布 4 の 12 の 20 安立電気(株)内 03(446)1111 c/o ANRITSU-denki, 4-12-10, Minamiazabu, Minato-ku, Tokyo
セナー株式会社 SENA Co., Ltd.	〒 100	東京都千代田区内幸町 2 の 1 の 1 03 (506) 5331 2-1-1, Uchisaiwai-chō, Chiyoda-ku, Tokyo
全国漁業無線協会 All Japan Fishery Radio Association	〒 107	東京都港区北青山 2 の 7 の 14 03 (402) 3614 2-7-14, Kitaaooyama, Minato-ku, Tokyo

せ かい の お も な く う こ う み て あ る き
欧 米 主 要 空 港 視 察 記

会 長 松 行 利 忠*

The Report of Examination Trip of World Airports

President Toshitada MATSUYUKI*

はじめに

話が旧聞になって恐れ入るが、私は昨 45 年の 5、6 月にかけて、欧米主要空港調査団に加わり、26 日間に 15 の空港を見学して歩いた。空港といえばその土木、建築の大きさ、すばらしさが目を見張らせるが、そこには必ず航空機を安全に飛ばせたり、発着させるための航空保安施設、それも近頃は新しい電波航行援助施設が存在することを見逃してはならない。私がこの行に参加した理由はここにある。

さて調査団は 6 人という小人数であったが、一応土木、建築、電気（照明）の各専門家が、それぞれの会社から参加され、それに電波関係が私に加わり、ほかにこの行を企画した旅行社からのコンダクター 1 を加えた一行は、5 月 27 日夜勇躍初めの調査地ヨーロッパへ向って羽田空

港を飛び立った。

予告した行動としては、つぎの各空港の視察と、パリーのルプールジュ空港における第 4 回国際航空宇宙ショーの見学およびアメリカのワシントンに在る連邦航空庁 (FAA) 訪問といったものであった。

以下旅行の順序に従って各地で見たこと、感じたことのあらましを記して、編集幹事のお求めに對し責を果したいと思う。

コペンハーゲン

この空港はカストラップという、本土からは狭い海峡を隔てた島の中に在って、市の中心まで約 8 km という近距離にもかかわらず、騒音その他の公害の及ばない格好の場所に選定されていると感じた。滑走路 3 本（うち 1 本は 10000 呎以上）をもつかかなり立派な空港であるが、近くに在るもう一つの無人島に群棲するかもめの飛来で、飛行機の発着の安全に影響を来たすという道公害に悩まされており、かもめ対策にほとほと手を焼いているというエピソードがある。

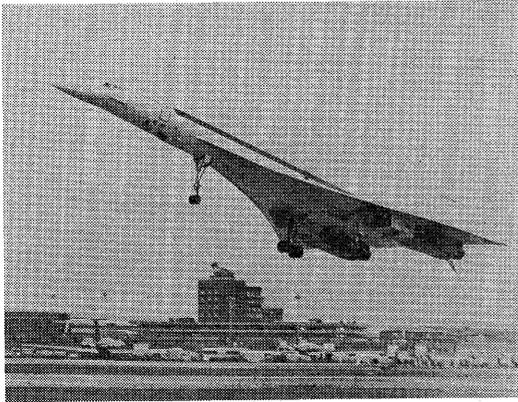
ここでは 4、5 時間のあき時間を利用して、市街の見物をしたが、フリーセックスで名高い北欧の市の一つとあって、童話の父アンデルセンの銅像の在る広場に近い目抜き通りで、何軒ものポルノ屋が堂々と店を張っていたのには驚いた。しかし町の雰囲気は極めて温健で、ディズニーランドの原型といわれるチボリ遊園地では、親子づれが喜々として戯れている姿がほほえましかった。

ロンドン

ヒースロー空港の見学は、先方の都合で夕方になった。しかし相手をして呉れた広報課長さんは大変親切で、丁寧に案内して下さった上沢山の資料を頂戴した。この空港はロンドン市の中心から西方約 24 km の平地に在って、羽田程ではないが周辺に相当数の住宅や工場があるため、騒音公害の軽減にはかなり気を使っており、飛行機の発着時の飛行方式についても、安全を害なわない限度において条件を厳しくしているようである。そのため

空 港	都 市	国
コペンハーゲン国際	コペンハーゲン	デンマーク
ヒースロー ガトウィック	ロンドン	イギリス
スキポール	アムステルダム	オランダ
オルリー ルプールジュ	パリ	フランス
フランクフルト	フランクフルト	西ドイツ
フュミチノ	ローマ	イタリー
J. F. ケネディ国際 ラガーディア ニューアーク	ニューヨーク	アメリカ
ナショナル ダレス国際	ワシントン	〃
ロスアンジェルス 国際	ロスアンジェルス	〃
ホノルル国際	ホノルル	〃

* 防衛大学校 横須賀市走水 1-10-20 (Defense Academy, 1-10-20, Hashirimizu, Yokosuka-shi)



英国のヒースロー空港を飛び立つ SST コンコード

もあって、VOR、空港監視レーダ、ILS、DF、精測レーダなど各種の電子装置を駆使し、飛行機の進入着陸および離陸の援助・監視には随分力を入れている様子が見えがえた。ここでは近い将来全天候自動着陸の実施を目標としており、そのためカテゴリー IIIA の ILS の開発に努力中の模様であった。光による飛行機の地上誘導についても、独自の工夫をしている。なおコントロールタワーに女性のコントローラーが勤務していたのも珍らしかった。

ガトウィック空港は昨年両陸下の発着された空港であるが、ローカル空港で、滑走路は一本しかなく、目下もう一本の増設を考えているが、土地入手の点で悩んでいるとのことであった。

ロンドンでは将来の航空旅客の著しい増加に対応するため、第三の空港を計画しており、当時3ヶ所の候補地を選んで検討中とのことであったが、最近のニュースによれば、いよいよロンドンの東90kmの海岸沿いに決定を見たようである。

ロンドンには4泊したので、若干市内見物をする機会があった。名物の霧追放の努力が実って、予想外の青空に恵まれたが、建物は一体にどす黒く、上に向いた部分だけが白く雪を被ったようになっていたのはどういう訳であろうか。ちょうど日曜日にぶつかったので、有名なバッキンガム宮殿の衛兵交替を見に行った。11時半から行なわれるというのに、宮殿の前は早くから大変な人だかりで、私は写真をとるのにえらい苦勞をした。こうした古くからの行事と共に、ロンドンにはかつての大英帝国の栄光の名残が随所に散在しており、正に歴史の町、伝統の町という印象が強かった。

アムステルダム

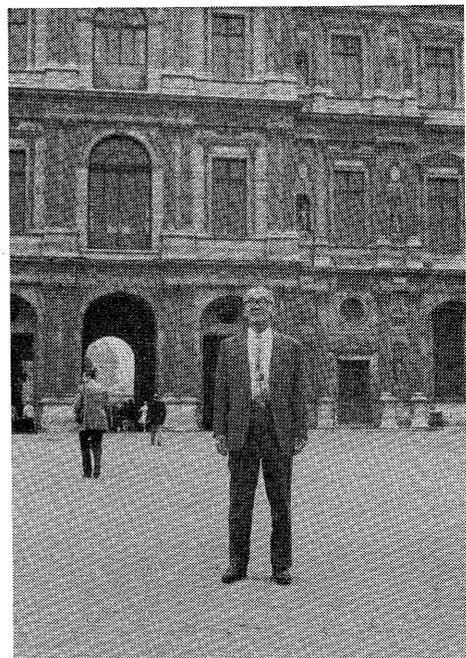
スキポール空港は市の南西約10km、オランダ独得の広大な干拓地の中にあつて、付近には池や沼が多く、樹木もまばらで、誠に使い易い空港と見た。小さな国土に

似ず、欧州一といわれる広い敷地を擁し、4本ある滑走路が何れも10000呎を越す長さで、しかも2本ずつが平行な対をなしておいて、同時発着可能という誠に立派なものである。またここはKLM航空会社の本拠であつて、その運航管理室を見学する機会を持ったが、およそ10台の桌上コンピューターに各便の飛行機の乗客、貨物、行動、天候等あらゆる情報を入力し、計算すべきものは計算し、飛行機側に伝えたり、インフォメーションデスクに出力したりして、整然ととりさばっている様子は、明日の選航管理の在り方を示すものとして感心させられた。また、ここでは旅客手荷物も受入れ計量から選別、送達、集積まで全てコンピューター化していることが目を引いた。

アムステルダムでは、有名な画家レンブラントの銅像の立っている公園に近いホテルに一泊したが、翌朝起きに響いたことは、町中自転車で埋まるといい程自転車族の多いことで、特に白い膚のきれいな娘さんの自転車に乗ったさそうたる通勤風景は、試にいかすものであった。ここでは自動車小さくなって自転車に道を譲っている仕末である。

パリ

アムステルダムからパリ行きのエールフランスが、エンジン不調で大分待たされた上キャンセルとなり、やっと夕方のルブルジェ行き便をつかまえて乗った。そのためパリ着が予定から5、6時間も遅れて20時過ぎとなり、折りから航空宇宙ショーで超満員のパリで



パリのルーブル博物館にて筆者

のホテル捜しに大変な苦勞をした。やっと2軒に分れて宿がきまって、到着したときは夜中の12時を過ぎていた。

翌6月3日、市から南へ約15kmに在るオルリー空港を見学した。ここはパリーの国際便の玄関口であって、規模は頗る大きく、滑走路も4本（うち2本は10000呎以上）あって、現在使用中のオルリー南ターミナルのほか、これに匹敵するオルリー西ターミナルを建設中であり、完成の暁は両者を長、短距離用に使い分けて、相当多くのトラフィックをさばく予定であるが、ここでも第三の空港の設置を考え、すでにパリー北東約25kmのロアシー・アン・フランスには極めて斬新な設計による空港の建設にとりかかっているとのことであった。

6月4日はルブールジェ空港で開催中の航空宇宙ショーを見に行った。会場は各国から集まった人達をも含めた物凄い大観衆でうだるような零闘気であった。各国御自慢の飛行機が、場内狭しと並べられているほかに、滑走路からは約15分おきに種々の機種が飛び立って人々の視線を集めた。中にもコンコードとソ連のTU144の両SST、英国のVTOL、アメリカのC5Aギャラクシーなどが人気の的であった。そして一通りの行事が終って大観衆が思い思いに引き揚げて行く頭上を、仏空軍のミラージュが編隊を組んで超低空で飛び廻っていたのが印象的であった。

フランクフルト

この空港は市の西方約12kmに所在し、市との間はアウトバーンで結ばれていて、大変出入りが便利であるが、しかも途中には縦深の深い森が介在しており、騒音その他の問題では誠に好都合ではないかと思った。この空港はルフトハンザ航空の母港であり、さすがに規模の壮大さ、その設計の勝れていることは美事なものがあつた。夜皆で町に出て食べたフランクフルターの味と、飲んだビールの味が忘れられない。

ローマ

フェミチノ（別名レオナルド・ダ・ビンチ空港）は市の南南西約38kmの海の近くに在る。空港ビルその他の施設は他国に比べていささか見劣りする感じであった。またこの空港は空軍が管理しているとのことで見学が許されず、空港の役人から伊太利語で説明を受けたものを、ルフトハンザの駐在員に英訳して貰い、それを聞いてやっとあらましを知ることができた。

ローマの市は昔の廃墟と近代都市とが調和よく同居しているすばらしい都会と聞いていたが、古代の顔と近代の顔とが二重写しになり、これに物凄い騒音と交通混乱とが加わって、旅行者にとっては何ともいただけない町だとの印象を受けた。なお私の体験によればこの都会は全く油断のならない処である。

アメリカへ

ヨーロッパでの12日間の日程を終って、6月9日アメリカへ向って立つことになったが、ここでちょっとしたハプニングが起こつた。フランクフルト空港の管制官が待遇改善要求の順法闘争をこの日から始め、その影響でヨーロッパ中の航空便が全部遅れを出し、われわれの乗るべき1030ローマ発のルフトハンザ機が一向に出発しないのである。やっと出発ときまつて1304飛び立ったが、中継地のフランクフルトへ着いて見ると、ニューヨーク行きの予定便は既に出発したあとの祭で、やっと間に合ったBOAC機をつかまえ、ニューヨークのJ.F.ケネディ空港についたときは、予定より5時間も遅れた2010であった。

ニューヨーク

ニューヨークにはJ.F.K.のほか、ラガーディアとニューアークの両空港があつて、Port of N.Y. Authorityの管理する処である。J.F.K.空港はヨーロッパに対する玄関口であり、その規模は頗る壮大で、滑走路4本中3本までが10000呎以上の長さを持ち、何れもがその両側から利用できるよう各2セットのILSをもつといった構えである。ほかにPARも設備されている。

他の2つの空港は国内便用であるが、このうちニューアークは大改造中で、ターミナルビルを楕円周上に並んだ3つのユニットに分け、その間をITTという新型の電車の自動運転で結ぼうという新しい考え方をとっていた。

ワシントン

このナショナル空港と、ダレス国際空港とは、連邦政府のFAAが直轄管理している。ナショナル空港は市に近い（市の南南西約6km）だけに、騒音問題には随分気を使っており、飛行ルールや、空港使用時間など極めて厳しくしぱっている。

ダレス国際空港は、FAAの新しいアイディアの実験場といった感じがあつて、色々新施策を施している点が見える。たとえばここで使っているモビール、ラウンジというのは、特殊設計の自動車で、空港ビルの2階のゲートからこれに乗り込むと、その中は空港のラウンジそのままの快適な構造になっており、乗客はソファでリラックスしている間に車が動いて、その前面が乗機の昇降口にピタリと接着され、車内から機内へと楽に乗込めるといったもので、FAAではこれによって空港ビルに入った乗客を200呎以上歩かせることなく搭乗させることができると御自慢である。

ロスアンゼルス

この空港は市の南南西約21kmの海岸沿いにあるので、できるだけ飛行機を海側から発着させるようにして、

付近の住民に対する騒音の軽減を計っているが、それでも一部の住宅を買収移転させたり、また一部の住宅や工場には騒音遮蔽措置を施こしたりしている。そして根本的には騒音の少ないエンジンの開発に待つべきであるとして、そのための推算 10 億弗の研究開発費を賄うため、今後 5 か年間乗客 1 人当たり 1 弗ずつ拠金せしめ、これに航空貨物運賃収入から若干額をさいたものをさし加えることを提唱している。

この空港も規模頗る壮大で、4 本の滑走路中 3 本が 10000 呎以上あり、うち 2 本は所定の距離隔てて平行になっており、同時発着が可能である。ロスアンゼルス市は近い将来に具えて、さらに市の北北東約 75 km のパームデールに広大な第二空港を建設しつつある。

ここではユナイテッド航空会社の航空貨物取扱所を見学したが、大きな建物の中にはコンペアーの網が張り巡らされ、貨物の仕分け、移動、分散、集積などの操作はほとんど 100% コンピューター化によって自動されていて、この種施設の今後の在り方を多分に示唆するものと思った。

ホノルル

ホノルル国際空港は、ワイキキから西南西約 15 km に在って 3 方が海に囲まれているとあってよい。ここではハワイ州から増改築一切を請負っているパーソンズ社の人達から 5 年および 10 年計画について話をきき、そして改造工事中の現場を案内して貰った。ターミナルビルなど全く面目を一新するであろうと思われるような大改良工事をやっていたが、将来計画として沖合の珊瑚礁を利用してもう一本の 10000 呎級滑走路を作る予定とのことであった。

おわりに

こうして全ての予定の視察を終った一行は 6 月 19 日、日本航空のジャンボに乗って 26 日振りに無事東京空港に帰りついた。思えばかなり欲張った忙がしい旅であったが、一同元気にこれをなし遂げることができたことは何より幸なことであった。そして行った先で親切にお世話をいただいた多くの方々から心から感謝する次第である。

電波航法研究会正会員名簿 (3)

Corporate Members of JACRAN —continued—

全日本空輸株式会社 All Nippon Airways Co., Ltd.	〒 144 東京都大田区羽田空港 1-6-6 03 (744) 3111 1-6-6, Haneda-kūkō, Ota-ku, Tokyo
大洋漁業株式会社 TAIYO GYOGYO Kabushiki, Kaisha	〒 100 東京都千代田区丸の内 1 の 5 の 1 03 (216) 0811 1-5-1, Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo
太平洋無線株式会社 TAIYO MUSEN Co., Ltd.	〒 150 東京都渋谷区恵比寿西 2 の 20 の 7 03 (463) 3221 2-20-7, Ebisunishi, Shibuya-ku, Tokyo
株式会社 T I C T.I.C. Co., Ltd.	〒 184 東京都小金井市前原町 5 の 6 の 12 0423 (83) 2221 5-6-12, Maehara-cho, Koganei-shi, Tokyo
照国海運株式会社 TERUKUNI KAIUN Kaisha, Ltd.	〒 104 東京都中央区八重州 2 の 3 の 5 03 (272) 8441 2-3-5, Yaesu, Chuō-ku, Tokyo
電子機械工業会 Electronic Industries Association of Japan	〒 100 東京都千代田区丸の内 3 の 2 の 2 03 (211) 2765 3-2-2, Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo
東亜国内航空株式会社 TOA Domestic Air Line Co., Ltd.	〒 144 東京都大田区羽田空港 1-9-1 03 (747) 6233 1-9-1, Haneda-kūkō, Ota-ku, Tokyo
株式会社 東京計器 TOKYO KEIKI, Co., Ltd.	〒 144 東京都大田区南蒲田 2 の 16 03 (732) 2111 2-16, Minamikamata, Ota-ku, Tokyo
東京芝浦電気株式会社 TOKYO SHIBAURA Electric, Co.	〒 210 川崎市小向東芝町 1 044 (51) 1111 1, Komukai-toshiba-machi, Kawasaki-shi
東京船舶株式会社 TOKYO SENPAKU Kaisha, Ltd.	〒 100 東京都千代田区丸の内 2 の 7 の 3 東京ビル 03 (201) 2431 2-7-3, Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo
東京タンカー株式会社 TOKYO TANKER Co., Ltd.	〒 105 東京都港区西新橋 1 の 3 の 12 03 (502) 1511 1-3-12, Nishishinbashi, Minato-ku, Tokyo



Introduction of New Products

衝突予防システム “MARAC-II”

安立電波工業株式会社*

Anti-Collision System “MARAC-II”

Anritsu Electronic Works Ltd.*

1. はしがき

近年船舶の巨大化、高速化に伴い、一層航行の安全が追究されるようになりました。

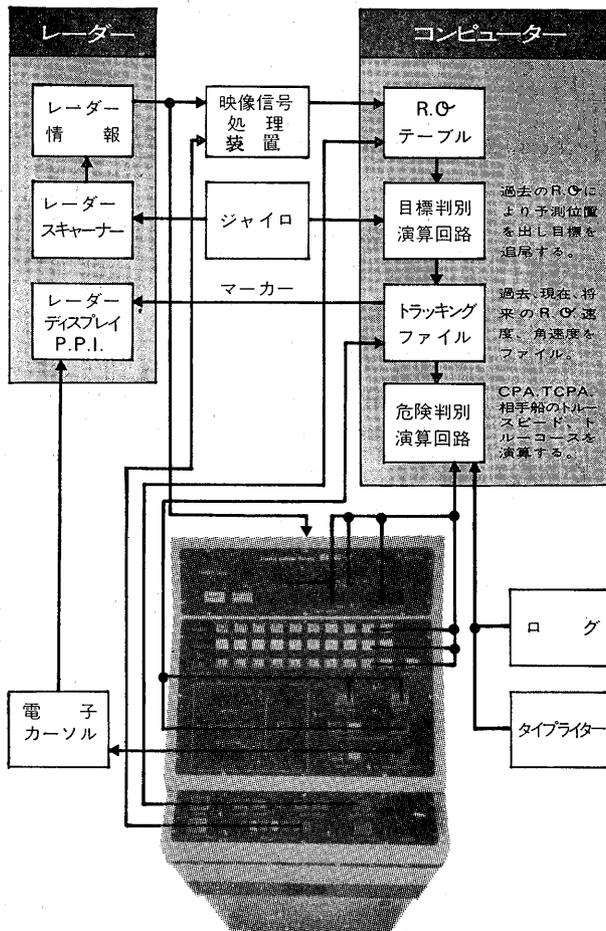
このような要求に応じて弊社では先に接近船報知装置「MARAC-I」を開発しましたが、このたび三菱重工業(株)殿との共同研究により衝突予防システム「MARAC-II」を開発し日本郵船(株)殿ご発注の超動化船「鳥取丸」に装備しました。

2. システムの構成

本システムはレーダ装置、信号処理装置、中央演算処理装置(CPU)、デジタルディスプレイで構成され、デジタルディスプレイはレーダディスプレイに並べて装備されています。本船は集中制御方式の自動化船で、CPUはエンジン、荷役の制御、航法計算等を行いません。

3. 構成機器の要目

- レーダ 5cm波 12インチ PPI
- 信号処理装置
 - 処理範囲 2.5~7.5 浬
 - 5.0~10.0 浬
- 中央演算処理装置
 - 三菱 MELCOM 350
 - 捕捉目標数 30
 - 追尾目標数 10
 - ソフトウェア 三菱電機(株)



MARAC-II システムブロック図

* 東京都渋谷区恵比寿南 1-1-1 (スヤマビル) (1-1, 1-chome, Ebisu-minami, Shibuya-ku, Tokyo)

デジタルディスプレイ表示データ

CPA, TCPA, 速力, 針路

4. 装置の概要

信号処理装置はレーダの受信々号から雑音やレーダ干渉を除き, また陸地からの反射波により CPU がオーバーフローしないように働きます。この処理した信号の中から特定の目標を選びその位置情報を CPU に 32 秒間隔で入力します。CPU は目標の速力, 針路, CPA, TCPA 等を計算し, その結果がデジタルディスプレイに表示

されます。

目標の CPA が, 設定した値より小さい時は衝突の危険があるとしてブザーとランプによる警報を發します。目標は自動的に捕捉されるようになっていますが, 手動による目標の選択も可能で, この場合はレーダの PPI 上で電子カーソルを目標に合致させることにより捕捉することが出来ます。

追尾している目標や警報の出た目標を他と区別するためレーダの PPI に表示されている目標の映像にマーカーが出るようになっています。

レーダ衝突予防装置 (TPS-II 型)

協立電波株式会社*

Anti-Collision Radar System "Type TPS-II"

Kyoritsu Dempa Co., Ltd.*

— 要目表 —

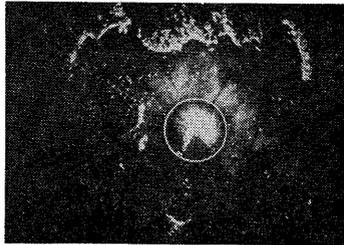
構成	スキャナ ×1 送受信機 ×1 指示機 ×1 操作およびデジタル表示部 ×1 補助レーダ送受信機と切換使用可能	表示される像	1. PLOTTING VIDEO (1) 目標船の跡跡 現在位置 1 点過去 4 点 PLOT 第 1 点は 20 秒後表示, 第 2 点後は 40 秒または 80 秒毎 (2) 目標船の現在位置マーク。ハ型 2. RAW VIDEO	警報	1. 予報リングに物標が進入し危険再度方向に向うとき 2. 最近接距離, 最近接時間が設定値以下のとき 3. 警報リングに物標が進入し危険角度方向に向うとき 4. 機発動作異常のとき
使用波長	3cm 波または 5cm 波			デジタル表示	1. 最近接距離 (CPA) 2. 最近接時間 (T-CPA) 3. 物標の速度 4. ASPECT 5. 距離 6. 方位 (HEAD UP, N-UP)
映像表示	PPI 16 吋				
表示方式	RELATIVE MODE, TRUE MODE				
目標検知	手動および自動	監視リング	12, 10 浬 予報 自動追跡用 6 浬 警報用 (進路判定, 半固定)		
追跡方法	自動				
追跡数	5 目標				
試行操船	1. 左右舷 0~40° (10° 間隔) 3. 表示 グラフィック		2. 速度 手動設定		

— 特長 —

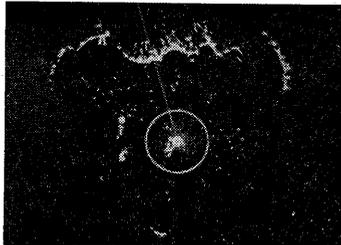
1. 追跡対象船の航跡 PPI をに同時表示する, いわゆるプロットング方式をベースにしておりますから危険回避の予測値のほか相手船の運動状況を知ることにより航海士とコンピュータが短時間に正確な対話が期待でき最適操作が可能となります。
2. 高性能な妨害電波除去回路を備えはっきりした画像と信頼性の高い情報が得られます。
3. 三つの監視リングにより進入危険船を常に判定しています。また自動捕捉追跡ができますから航海士の負担を軽くします。

* 東京都八王子市石川町中原 2872 (2872, Nakahara, Ishikawa-cho, Hachioji-shi, Tokyo)

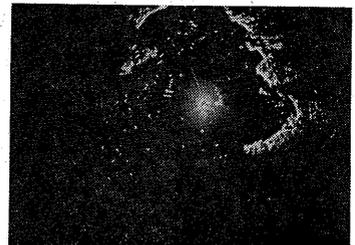
4. 自動捕捉は危険度の高いものから優先的に5隻を選び追跡します。それより危険度の高い物標が現われれば優先割り込みをおこない追跡します。
5. 試行操船はグラフィックディスプレイ方式ですから一見して危険海域がわかります。
6. 高性能なミニコン TOSBAC-10 を使用していますから予測値を迅速に提供します。
7. ハードウェアはシンプルで且つ経済的です。操作や表示は務めて単純化してありますので使い易く、補動レーダとの切換使用も可能です。



レーダ映像妨害波のある映像

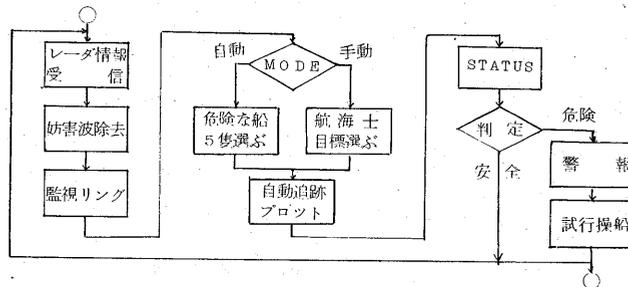


レーダ映像妨害波を除去した映像



2目標プロッチング追跡中の映像

— フローチャート —



衝突予防装置 JAS-350

日本無線株式会社*

Anti-Collision System "Type JAS-350"

Japan Radio Co., Ltd.*

1. はしがき

近年船舶の大型化、高速化と共に海上交通量が急激に増大し船舶の衝突の危険性が高くなってきている。このような情勢の下に、内外を問わず衝突予防装置の開発が進められてきた。当社に於いても数年前から衝突予防装置の開発を行ってきたが、ここに当社の開発した衝突予防装置について簡単に紹介する。

本装置は通常のマリンレーダとミニコンピュータを組合せたもので、レーダで得られた他船のデータと自船

のデータからコンピュータを使って衝突条件の計算を行ない、その演算結果を本来位置ベクトルとしてレーダ指示器のブラウン管上に通常のレーダ映像と重ねて表示し、操船者が他船の動向を一見して判断でき更に危険船についてはパネル上の番号表示ランプおよびブザーによって判明できるようになっている。

2. JAS-350 の特長

本装置は衝突予防として必要と思われる機能を殆んど備えた標準的な機種を目標に企画されたものである。第

* 東京都三鷹市下連雀 5-1-1 (1-1, 5-chome, Shimo-renjyaku, Mitaka-shi, Tokyo)



第1図 JAS-350 衝突予防装置本体

1図の装置外観に示すように、レーダ指示器の背面に操作パネル(処理装置)を設置し、操作本位に設計されている。また小形でできており、占有面積も少なくてすむ。

本装置の主な特長は、

- (1) 海域等の状況変化に対して、目標の捕捉、追尾が自動/手動切替可能である。従って全海域で使用でき、気象、海象の変化にも充分対処できる。
- (2) 多目標同時に未来位置ベクトルを表示するため、他船の動向が at-a-glance で判定でき衝突予防に有効である。
- (3) 目標の追尾ゾーンが3段階(前方90°, 前半180°, 全周)切替可能であるため、海域によっては特長の(1)と組合わさり、自動追尾の機能が更に発揮される。
- (4) 目標の手動捕捉はジョイスティックによってCRT上を任意に動く小円マークで行なっているため、操作が非常に簡単である。
- (5) 試行操船の演算は特定目標でなく追尾中の全目標に対して行なわれ、全ベクトルが同時に表示されるので、他の目標を見落とす危険がない。
- (6) 本装置は如何なる時もレーダ(JMA-159)の機能

を保持する。

- (7) 未来位置ベクトルの長さは目標の相対速度に比例した長さで表示される。且つその未来位置(ベクトルの長さ)は10分、20分、30分、と切替可能なため可変距離マーカ等と合わせて、CPA、TCPAの算出が容易である。
- (8) 構造的には、LSI、MSIの大量使用により小型化されている。

などである。

衝突予防として他船の動向を考えた場合、操船者が先ず把握したいのは、他船の方位、距離、速度、針路等の数値そのものではなくレーダ視野内にある全船がどのような状態で航行しているのか(他船のアスペクト)、また大体どの程度の距離に接近するであろうか(大略のCPA迄の距離)といった大局的な他船の動向であると考えられる。このような観点から、本装置では、目標データのデジタル表示はしないで、直感的に判明出来るアナログ(ベクトル)の表示方式を採った。この方式では Raw Video と同一 CRT 上に複数船の未来位置ベクトルが同時に表示され他船の動向は一見して判明し、また衝突判定条件に重要な CPA、TCPA も JMA-159 の機能と組合わさり容易に算出可能である。

3. システム構成

本装置は、マリンレーダ(JMA-159)、処理装置(NIC-2001)およびミニコン(JAC-520)で構成されており、処理装置はレーダ指示器(NCD-327)の背面に設置される。本装置は当社が開発した大型レーダ JMA-159 (インタースキャン方式の EBL 機能等を持つ新型レーダ)に処理装置、ミニコンを付加したものである。

JAS-350 衝突予防装置構成機器

- (1) レーダ JMA-159
 - 空中線 NKE-158
 - 送受信機 NTG-162
 - 指示器 NCD-327
 - 整流器 NBA-933
- (2) 処理装置 NIC-2001
- (3) ミニコン JAC-520

4. 主要性能

- (1) 目標処理範囲 16 NM
- (2) 追尾目標数 10目標
- (3) 目標捕捉および追尾
 - AT……自動捕捉, 自動追尾
 - MI……手動捕捉, 自動追尾
 - MP……手動捕捉, 手動追尾

- | | |
|---|---|
| <p>(4) 表示
CRT: 追尾目標船の未来位置ベクトル(10, 20, 30分可変)
パネル: 各目標の状態表示, 警報</p> <p>(5) 試行操船 (自船の試行速度, 針路の設定は手動)
追尾中の全目標に対して試行ベクトルを表示する。またパネル上の各目標ランプも同時に試行状態を表示する。</p> | <p>(6) レーダレンジ 12/24/48 NM</p> <p>(7) 目標の追尾ゾーン 3段階
前方 90°, 前半 180°, 全国の3段階切換可能</p> <p>(8) MIN CPA, TCPA の設定
MIN CPA 0.1~9.9 NM
MIN TCPA 1~99 MIN</p> <p>(9) 追尾不要船の消去</p> |
|---|---|

電波航法研究会正会員名簿 (4)

Corporate Members of JACRAN —continued—

- | | |
|---|---|
| <p>東洋通信機株式会社
TOYO Communication Equipment Co., Ltd.</p> <p>長野日本無線株式会社
NAGANO Japan Radio Co., Ltd.</p> <p>七洋電機株式会社
NANAYO Electric Co., Ltd.</p> <p>日本アビオトロニクス株式会社
NIPPON Aviotronics Co., Ltd.</p> <p>日本海難防止協会
The Japan Association for Preventing Marine Accidents</p> <p>日本航空株式会社
JAPAN AIR LINES</p> <p>日本船主協会
JAPANESE Shipowners' Association</p> <p>日本電気株式会社
NIPPON Electric Company, Limited</p> <p>日本無線株式会社
JAPAN Radio Co., Ltd.</p> <p>日本郵船株式会社
NIPPON YUSEN Kaisha</p> <p>株式会社 日立製作所 戸塚工場
TOTSUKA Factory, HITACHI Ltd.</p> <p>富士通株式会社
FUJITSU Limited</p> <p>古野電水株式会社
FURUNO Electric, Co., Ltd.</p> <p>三井造船株式会社
MITSUI Shipbuilding & Engineering, Co., Ltd.</p> <p>三菱電機株式会社
MITSUBISHI Electric Corporation</p> <p>三菱重工株式会社
MITSUBISHI Heavy Industries, Ltd.</p> <p>山下新日本汽船株式会社
YAMASHITA-SHINNIHON Steamship, Co., Ltd.</p> <p>山武ハネウェル株式会社
YAMATAKE Honeywell Co., Ltd.</p> | <p>〒 253-10 神奈川県高座郡寒川町小谷 753 番地 0467 (75) 1131
753, Koyato, Samukawa-chō, Kōza-gun, Kanagawa</p> <p>〒 105 東京都港区芝西久保桜川町 25 番地 03 (502) 7021
25, Shiba-nishikubo-sakuragawa-chō, Minato-ku, Tokyo</p> <p>〒 152 東京都目黒区中央町 2 の 25 の 5 03 (711) 6311
2-25-5, Chūō-chō, Meguro-ku, Tokyo</p> <p>〒 246 横浜市瀬谷区瀬谷町 3680 045 (301) 2141
3680, Seya-machi, Seya-ku, Yokohama-shi</p> <p>〒 105 東京都港区芝琴平町 35 03 (502) 2068
35, Shiba-Kotohira-chō, Minato-ku, Tokyo</p> <p>〒 144 東京都大田区羽田空港 1 の 9 の 1 03 (747) 3750
1-9-1, Haneda-kūkō, Ota-ku, Tokyo</p> <p>〒 100 東京都千代田区内幸町 1 の 2 大坂ビル 2 号館 03(502)4651
1-2, Uchisaiwai-chō, Chiyoda-ku, Tokyo</p> <p>〒 108 東京都港区芝 5 の 7 の 15 03 (452) 1111
5-7-15, Shiba, Minato-ku, Tokyo</p> <p>〒 105 東京都港区芝西久保桜川町 25 03 (591) 3451
25, Shiba-nishikubo-sakuragawa-chō, Minato-ku, Tokyo</p> <p>〒 100 東京都千代田区丸の内 2 の 3 の 2 03 (212) 4211
2-3-2, Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo</p> <p>〒 244 横浜市中塚区戸塚町 216 045 (881) 1221
216, Totsuka-chō, Totsuka-ku, Yokohama-shi</p> <p>〒 211 川崎市上小田中 1015 044 (77) 1111
1015, Kamiotanaka, Kawasaki-shi</p> <p>〒 104 東京都中央区七重州 4 の 5 藤和ビル 03 (272) 8491
4-5, Yaesu, Chūō-ku, Tokyo</p> <p>〒 104 東京都中央区築地 5 の 6 の 4 03 (543) 3111
5-6-4, Tsukiji, Chūō-ku, Tokyo</p> <p>〒 100 東京都千代田区丸の内 2 の 2 の 3 03 (218) 3317
2-2-3, Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo</p> <p>〒 100 東京都千代田区丸の内 2 の 5 の 1 03 (212) 3111
2-5-1, Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo</p> <p>〒 100 東京都千代田区一ツ橋 1 の 1 の 1 03 (216) 2111
1-1-1, Hitotsubashi, Chiyoda-ku, Tokyo</p> <p>〒 100 東京都千代田区丸の内 2 の 6 の 2 丸の内八重州ビル
03 (211) 7261
2-6-2, Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo</p> |
|---|---|

研究会記事

Record

昭和46年度事業報告

*電波航法研究会事務局

Record of the Work Carried Out by the Japanese Committee for Radio
Aids to Navigation During Japanese Fiscal Year 1972

*Secretariat

General Meeting

May 21, 1971: The fiscal 1971 general meeting was held at the Memorial Hall of the Tokyo University of Mercantile Marine with fourty members of attendance.

- (1) Report on the activities of the Committee for fiscal 1970 was presented and approved as drafted.
- (2) Mr. IJIMA, Chief Accountancy, reported on the financing of the Committee for fiscal 1970, which was followed by the Auditor's report by Mr. IWASA, and those were approved as drafted.
- (3) A draft to revise the Committee's Rules was presented with its explanation and approved as drafted.
- (4) Re-election to appoint the new staff under the revision was made, and Prof. Toshitada MATSUYUKI was re-appointed Chairman. Prof. Minoru OKADA and Prof. Kazutami SYOJI were elected Vice-Chairman.
Chief Secretariat, Accountancy and Auditor were all re-appointed as drafted Secretariat.
- (5) A draft of the working plan for fiscal 1972 submitted by the Secretariat was approved.
- (6) The 1971 budget plan was explained by Mr. IJIMA, Chief Accountancy and approved as drafted.

総 会

昭和46年5月21日14時から、東京商船大学記念会館において昭和46年度総会が開催された。出席者は40名であった。

- (1) 昭和45年度事業報告が事務局より行なわれ、原案どおり承認された。
- (2) 昭和44年度決算報告が飯島会計幹事より行なわれ、会計監査の岩佐作一氏の監査報告があって、原案どおり承認された。
- (3) 事務局より規約改正案が提出され、説明が行なわれた後可決された。
- (4) 規約改正に伴う役員の改選が行なわれ、会長に松行利忠氏が再任、副会長には岡田美氏、庄司和民氏が選出された。
各幹事については事務局案が承認された。
- (5) 昭和46年度事業計画案について事務局より説明が行なわれ、承認された。
- (6) 昭和46年度予算案について飯島会計幹事より説明が行なわれ、原案どおり承認された。

* 海上保安庁燈台部電波標識課気付 (c/o Electronic Navigation Aids Division Maritime Safety Agency)
東京都千代田区霞ヶ関 2-1 (2-1, Kasumigaseki 1 chome Chiyoda-ku, Tokyo 100 Japan)

Research Meeting

1. May 21, 1971: The first research meeting was held at the Memorial Hall of the Tokyo University of Mercantile Marine following the General Meeting. Mr. Atsuo MATSUMOTO, Ishikawajimaharima Heavy Industries Co., gave a lecture on the subject of "Evaluation Test for Seiko-maru at Sea", which was followed by the movies "Ship and Computer" produced by the same Company.
The movies greatly attracted the audience since it was the first product concerning the computerized ship in Japan. Forty-four members attended the meeting.
2. July 28, 1971: The second research meeting was held at the council hall of the Maritime Safety Agency (MSA). Prof. MATSUYUKI gave a lecture on the subject, on the subject, "Reports on His Inspection Trip to the Main Airports in the U. S. and European Countries".
This was followed by the lectures, "Time Systems and Geodetic Systems" and "Calculation and Processing System for ship Position Fixing by using OMEGA Receiver" given by Mr. Akira SINZI, Hydrographic Department of MSA, and Mr. Toshio FURUYA, Kodan Electronics Co., respectively. Forty-four members attended the meeting.
3. January 31, 1972: The third research meeting was held at the MSA's council hall with fifty-five members of attendance.
Lectures were given by Mr. Koichi KIMURA, Electronics Navigation Laboratory on the subject of "Application of Stastical Technique to Geonavigation by Bennett and Hung", and by Dr. Kiyoshi MORITA, Oki Electric Industry Co., on the subject, "Exposition on Kalman Filter".
4. March 13, 1972: The fourth research meeting was held at the MSA's council hall. Prof. SHOJI, Tokyo University of Mercantile Marine, gave a lecture on "Radar Watching and Associated Equipment", and this was followed by the lectures, "Plotting Devices for Radar Images", by Prof. Sueichi TSURUTA, Tokai University and "Deduction of Approaches to Anti-Collision Navigation" by Mr. Mararu MOKUNAKA, Hitachi Shipbuilding Co. Forty-eight members attended the meeting.

研究会

1. 第1回研究会は昭和46年5月21日の総会に引き続いて行なわれた。石川島播磨重工業株式会社松本敦雄氏の「星光丸の海に評価試験について」と題する講演が行なわれ、続いて同社製作の映画「船とコンピュータ」が上映された。日本で初めてのコンピュータ制御船に関するものとあって、出席者の多大の関心を集めた。
出席者は44名であった。
2. 第2回研究会は昭和46年7月28日14時から、海に保安庁会議室で開催され、松行利忠氏の「欧米主要空港視察報告」、海上保安庁水路部編暦課長 進士晃氏の「時系および測地系」、株式会社光電製作所古谷俊雄氏の「オメガ受信機の船位計算処理システム」の講演が行なわれた。
出席者は44名であった。
3. 第3回研究会は昭和47年1月31日14時から、海上保安庁会議室で開催され、電子航法研究所 木村小一氏の「Bennett and Hung の“地文航法への統計技術の応用”」および沖電気工業株式会社 森田清氏の「カルマンフィルターの解説」と題する講演が行なわれた。
出席者は54名であった。
4. 第4回研究会は昭和47年3月13日14時から、海上保安庁会議室で開催され、東京商船大学 庄司和民氏の「レーダ見張りおよびその装置について」、東海大学教授 鶴田未一氏の「レーダ映像プロットング装置について」、日立造船株式会社 李中勝氏の「簡便な衝突回避航法推定法」と題する講演が行なわれた。
出席者は48名であった。

Inspection Trip and Extraordinary General Meeting

September 10, 1971: The eighteen members made the annual inspection trip to the Sendai Branch of the Civil Aviation College and the Training Center of Japan Air Lines, both located at Sendai Airport. After the trip, an extraordinary general meeting was held at Senshokaku hotel in Matsushima, and Chairman MATSUYUKI reported on the plan for the 20th anniversary of the Committee.

Preliminary Meetings

- (1) April 27, May 12, June 30, July 23, 1971 and January 10, November 31, 1972: Planning Secretary meetings were held to draft the budget and activities plans as well as to deliberate the agenda for each coming research meeting and the practical plan for the 20th anniversary of the Committee.
- (2) At the July-23-17 Planning Secretary meeting, the plan was approved to establish the Working Sub-committee for the Committee's 20th anniversary.
- (3) August 31 and October 14, 1971: Meetings of the Working Sub-committee for the 20th anniversary were held to discuss the celebration activities, contents of the lectures to be given, budget, etc.
- (4) August 4, 1971: An Editing Secretary meeting was held to prepare for the publication of "The Electronic Navigation Review No. 13", and the plan was approved to make it the commemorative issue of the 20th anniversary of the Committee.
- (5) October 2, 1971: An extraordinary Editing Secretary meeting was held to discuss the editing plan, articles, budget for the bulletin No. 12, and the publication plan for No. 13.

Commemorative Activities for the Jacran's 20th Anniversary

1. November 18, 1971: In celebration of the 20th anniversary of the Committee, the commemorative lectures and movies were given at the Toranomon Kyosai Kaikan Hall in Tokyo with more than 250 attendance.

見学会

昭和46年度の見学会は昭和46年9月10日、仙台空港の航空大学校仙台分校および日本航空仙台訓練施設を訪問した。

見学会終了後、松島の仙松閣において臨時総会を開催し、創立20周年記念行事計画について会長から説明が行なわれた。

出席者は18名であった。

幹事会等

- (1) 企画幹事会は昭和46年4月25日、5月12日、6月30日、7月23日、昭和47年1月10日、11月31日に開催された。予算案、事業計画案の作成が行なわれたほか、各回研究会のテーマの審議、および、20周年記念行事の実行計画の審議が行なわれた。
- (2) 昭和46年7月23日の企画幹事会において、20周年記念事業の実行委員会を設立することが承認された。
- (3) 20周年記念行事の実行委員会が8月31日、10月14日の2回開催され、記念行事の方針、講演内容、予算等が審議された。
- (4) 昭和46年8月4日、電波航法第13号の編集幹事会が開催され、この号を創立20周年記念号とすることが承認された。
- (5) 編集幹事会が昭和46年10月2日に開催され、「電波航法」第12号の編集方針、記事内容、予算、および第13号以降の刊行計画が審議された。

創立20周年記念行事

1. 当会の創立20周年を記念して、講演および映画の会が、東京都港区赤坂葵町の虎ノ門共済会館大ホールにおいて、昭和46年11月18日午前9時50分から開催された。入場者は250名を越え、盛会であった。当日行なわれた講演および映画は次のとおりであった。

The lectures given were:

- “History of Sea Navigation”
by Prof. Trao MOZAI, Tokyo University of Mercantile Marine
- “Present Status and Future Prospect of Aerial Navigation” by Prof. Minoru OKADA, Kogakuin University
- “Recollection of Ocean Navigation”
by Mr. Fukashi SHINODA, Japan Captains’ Association
- “Satellite Navigation and its Future Prospect”
by Mr. Koichi KIMURA, Electronic Navigation Laboratory, Ministry of Transport
- “Present and Future Progress in Radio Aids to Navigation” by Mr. Tohru TADANO, Maritime Safety Agency

The movies were:

- “Safety Aids to Air-navigation”
“Lighthouse”
“Safety Sea”

2. The electronic equipments for the navigational use were displayed at the Hall by the companies given below and attracted the audience.
- Anritsu Electronic Works, Ltd.
Oki Electric Industry Co., Ltd.
Koden Electronics Co., Ltd.
Sena Co., Ltd.
Tokyo Keiki Co., Ltd.
Toyo Communication Equipment Co., Ltd.
Tokyo Shibaura Electric Co.
Japan Air Lines
Japan Radio Co., Ltd.
3. The lectures and movies were followed by the presentation of letters of thanks to the ten companies and sixteen persons contributed to the development of the Committee since its establishment. Commemorative addresses were delivered by Chairman MATSUYUKI and Dr. Issaku KOGA, the first Chairman when the Committee was established. Chairman of Japan of Japan Shipowners’ Association and Suiyokai offered congratulatory addresses. The curtain of the commemorative meeting was downed in a great success with the final event of the celebration party followed afterwards.

講 演

- 航海術の歴史
東京商船大学 茂在寅男氏
- 航空航法の現状と将来
工学院大学 岡田実氏
- 海洋航法の回顧
船長協会 篠田不可止氏
- 衛星航法とその将来の展望
電子航法研究所 木村小一氏
- 電波標識の現状と将来
海上保安庁 只野暢氏

映 画

- 空の安全を支える
燈台へ
海をひらく

2. 当日、会場において各社の電波航法機器の展示が行なわれ、多数の来場者の関心を集めた。出席者は次のとおりであった。
- 安立電波工業株式会社
沖電気工業株式会社
株式会社 光電製作所
セナー株式会社
株式会社 東京計器
東洋通信機株式会社
東京芝浦電気株式会社
日本航空株式会社
日本無線株式会社
3. 講演および映画の会終了後、当会の創立以来その発展に寄与された10社、16氏に対する感謝状の贈呈式が行なわれ、松行利忠会長の挨拶、古賀逸策初代会長の挨拶に続き日本船主協会会長、水洋会会長の祝辞があって閉会、その後祝賀パーティが賑やかに繰り展げられて成功裡に記念行事を終了した。

Bulletin

1. August, 1971: The bulletin of the Committee "The Electronic Navigation Review, No. 12" was published.
2. November, 1971: The special issue of "The Electronic Navigation Review, No. 13" was published in commemoration of the 20th anniversary.

Enrollment of Members

1. The newly enrolled members during fiscal 1971 were as follows:

—Corporate Member—

Uyeno Tanker Co., Ltd.
Ishikawajimahirima Heavy Industries Co., Ltd.
T. I. C. Co., Ltd.
Yamatake Honeywell Co., Ltd.
Shimada Physical & Chemical Ind. Co., Ltd.
Toa Domestic Air Lines

—Individual Member—

Mr. Masayuki MIYAJIJI
(Nippon Avionics Co., Ltd.)
Mr. Gentei SATO (Sophia University)
Mr. Noboru KODAIRA
(Ishikawa Fisheries Senior High School)
Mr. Satoru YAMASHITA
(Maritime Self Defence Force, Staff College)
Mr. Masakatsu FUCHIMOTO (Takai University)
Mr. Seiko SUZUKI (Sumitomoshoji Kaisha Ltd.)
Mr. Mamoru OGURA (MSDF Services School)
Mr. Takashi HIRANO (ASDF Services School)
Mr. Yutaka KITAJIMA
(Nippon Avionics Co., Ltd.)
Mr. Masaji WATANABE
(Civil Aviation Safety College)
Mr. Usio YAMANAKA (Self Defence Forces)

2. The following nine persons were recommended by the Chairman as "The members to be recommended".

Prof. Shigeru OHOKA
Prof. Minoru OKADA
Prof. Noriomi OCHIAI
Mr. Soichi KITADA
Dr. Issaku KOGA
Prof. Naoto SAMEJIMA
Prof. Toshitada MATSUYUKI
Prof. Torao MOZAI
Dr. Kiyoshi MORITA

会誌発行

1. 電波航法第12号が昭和46年8月に発行された。
2. 電波航法第13号(創立20周年記念号)が昭和46年11月に発行された。

会員異動

1. 昭和46年度中の新会員は次のとおり

正会員

上野タンカー株式会社
石川島播磨重工業株式会社
株式会社 T I C
山武ハネウエル株式会社
島田理化工業株式会社
東亜国内航空株式会社

個人会員

宮地正之(日本アビオトロニクス)
佐藤源貞(上智大学理工学部)
小平昇(石川県立水産高校)
山下知(海上自衛隊幹部学校)
淵本正勝(東海大学)
鈴木清高(住友商事KK)
小倉守(自衛隊第一術科学校)
平野考(航空自衛隊第二術科学校)
北島豊(日本アビオトロニクス)
渡辺雅二(航空保安大学校)
山中丑夫(防衛庁調達実施本部)

2. 次の9氏が推せん会員として、会長から推せんされた。

大岡茂
岡田実
落合徳臣
北田宗一
古賀逸策
鮫島直人
松行利忠
茂在寅男
森田清

**The Working Plan of the Japanese Committee
for Radio Aids to Navigation for
Fiscal 1972**

昭和 47 年度事業計画

**1. Projected Surveys and Studies During Fiscal
1972 are on:**

- (1) Electronic aids and automatization of ships.
- (2) The OMEGA Navigation system.
- (3) The satellite navigation.
- (4) Anti-collision devices.
- (5) The electronic techniques to prevent sea accidents.
- (6) The equipments required for the navigation aids in narrow channels.
- (7) Oceano-technique and the electronic application.
- (8) The electronic aids to navigation in foreign countries.
- (9) The technical criteria for Radar equipment.
- (10) Other systems concerned.

2. Bulletin

Publication of the bulletins of the Committee, The Electronic Navigation Review, No. 14 and 15 is planned during fiscal 1972.

3. Research Meeting

Six meetings are planned during the fiscal year.

4. Inspection Trip

The inspection trip to "Tokai-maru Nisei" belonging to Tokai University and the marine science museum is planned at the end of September, 1972.

1. 調査・研究

- (1) 電子航法と船舶の自動化の調査研究
- (2) オメガ航法の調査研究
- (3) 衛星航法の調査研究
- (4) 衝突防止装置の調査研究
- (5) 船舶の事故防止のための電子技術の調査研究
- (6) 狭水道電子航法に必要な装置の調査研究
- (7) 海洋工学と電子応用の調査研究
- (8) 諸外国における電子航法の調査
- (9) レーダ技術基準の検討
- (10) その他

2. 会 誌

会誌「電波航法」第 14 号, 第 15 号の発行

3. 研 究 会

原則として年 6 回開催する。

4. 見 学 会

東海大学所属「東海大学丸 II 世」および海洋科学博物館の見学会を 9 月下旬頃行なう。

—— 電 波 航 法 ——

———— ELECTRONIC NAVIGATION REVIEW ————

昭和 47 年 12 月 25 日 印 刷 1 9 7 2

昭和 47 年 12 月 28 日 発 行 No. 14

編 集 東京都千代田区霞ヶ関 2-1-3 運輸省 9 階

発 行 海上保安庁燈台部電波標識課気付

電 波 航 法 研 究 会

Japanese Committee for Radio
Aids to Navigation

c/o Radio Navigation Aids Section
of Maritime Safety Agency

2-1-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo, Japan

印 刷 東京都文京区水道 2-7-5 井口ビル

(有) 啓文堂 松本印刷

海に空に 国際電気の対艦用, 対空用無線機

船舶搭載用VHF無線機(MS-AVC5A)

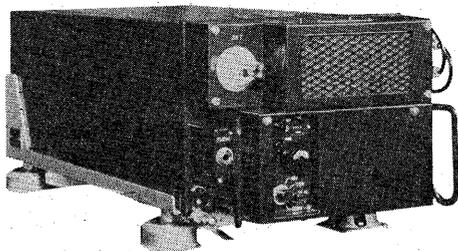
海上保安庁巡視船に多くの実績を持ち
救難, 警備に活躍中です。



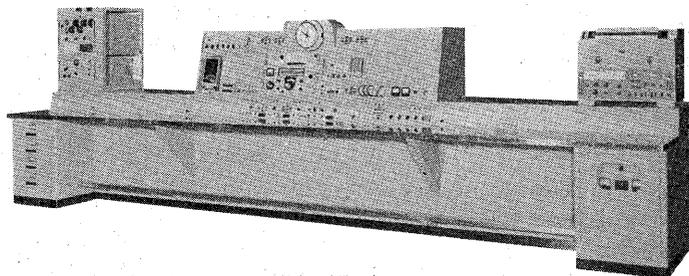
周波数範囲 118MHz~140MHz
チャンネル数 4波まで実装可能
送信出力 5W
電波形式 A₃

航空機搭載用HF無線機(XZ-1)

海上保安庁ヘリコプターに搭載し
空からの連絡に活躍中です。



周波数範囲 2.0MHz~13MHz
チャンネル数 10波まで実装可能
送信出力 50W
電波形式 A₁, A₃ J, A₃ H



沖縄県石垣航空基地納め, 操縦通信卓

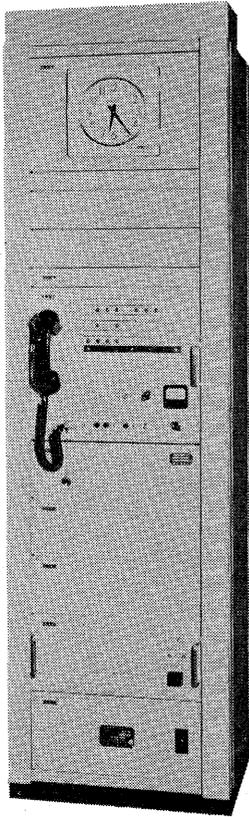


国際電気株式会社

本社 ☎ 105	東京都港区芝西久保桜川町9	☎ 東京 (03) 503-2211
大阪支社 ☎ 542	大阪市南区末吉橋通り2-7 第百生命大阪ビル	☎ 大阪 (06) 271-6771
名古屋営業所 ☎ 460	名古屋市中区錦3-23-31 栄町ビル	☎ 名古屋 (052) 961-5911
福岡営業所 ☎ 810	福岡市中央区渡辺通り2-1-82 電気ビル別館	☎ 福岡 (092) 76-3252
羽村工場 ☎ 190-11	東京都西多摩郡羽村町神明台2-1-1	☎ 福生 (0425) 54-6111

遠隔監視制御装置

NJTM-104型



用 途

無線設備、電気制御設備、水力発電所、浄水場、配電用、変電所、石油ガスのパイプライン、工場の受電設備、オートメーションのコントロールなど、勤務員の配置の困難な所、または合理化のため、遠隔制御により無人化を計画される所はすべて適用できます。

特 長

- IC 化されたデジタル符号伝送方式
- 論理回路はプリント基板化され IC を使用して小型で高速化され信頼度が高い。
- 伝送速度は50、100、200bits/sec、オプション600、1200bits/sec。
- 符号方式はNRZパルスポジション方式。
- 制御項目は標準50、100、200、400項目。
- 使用回線は有線または無線2回線。



長野日本無線株式會社

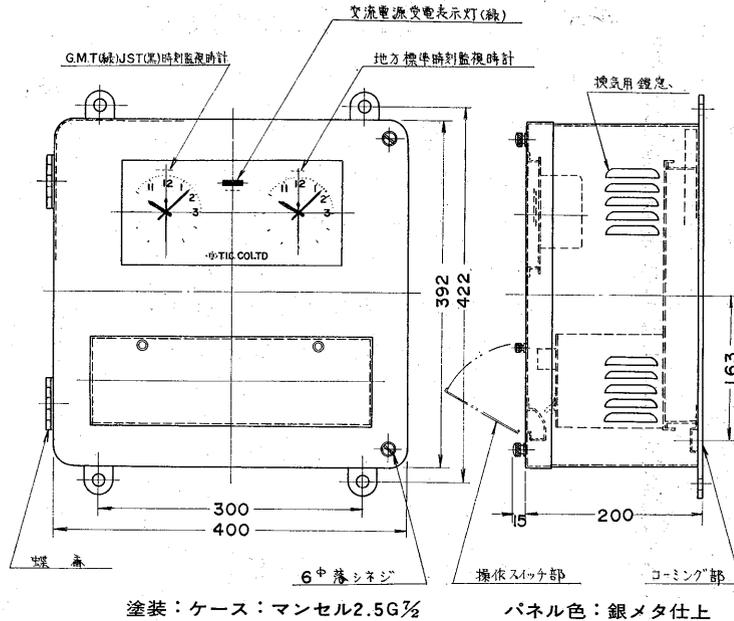
本 社 工 場 / 長 野 市 西 鶴 賀 町 1 4 6 3 番 地 〒 3 8 0 電 話 長 野 (0262) 32-4951 (代 表)

川 中 島 工 場 / 長 野 市 稲 里 町 下 水 飽 1 1 6 3 番 地 〒 381-21 電 話 長 野 (0262) 85-2525 (代 表)

東 京 事 務 所 / 東 京 都 港 区 芝 西 久 保 桜 川 町 25 番 地 〒 1 0 5 電 話 東 京 (03) 502-7021 (代 表)

T.I.C. の舶用水晶時計

親時計外観図(TXS-S4)



塗装：ケース：マンセル2.5G $\frac{1}{2}$

パネル色：銀メタ仕上

精度： $\pm 1 \times 10^{-6}$ (日差0.1秒以内)

温度範囲：精度保証範囲 $-10^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$

水晶原振周波数：12KHz

定格出力：秒針付用 AC100V, 60Hz Max 4.5W, 1回線

分針用

DC24V, 30秒有極信号電流 Max 1.2A 1回線

ロガー用回路

DC50V, Max 0.8A 1回線 但し接点動作
30秒周期とロガーよりの供給電源を使用する
(ノイズ電圧50V以内)

：故障警報用 DC24V, Max 0.5A (1回線)

定格入力：船内交流電源AC100V (110V) $\pm 20\%$ 60Hz
船内直流電源DC24V $\pm 4\text{V}$

寸法：壁掛型TXS-S4 400(横) \times 392(縦) \times 200

(奥行)mm、埋込型TXS-F4 466(横) \times 400
(縦) \times 195(奥行)mm

外装：SPC(磨鋼板)製板厚1.6mm 塗装色マンセル
2.5G $\frac{1}{2}$ (ケース及び内面)メタリック・シルバー(パネル)

重量：約35kg

入力制御：AC入力電源が停電またはその電圧が約75V
以下に下ると自動的にDC入力電源に切り替り、
約85V以上に上昇すると自動的にAC入力電源
に復旧します。

予備品箱：標準予備品として警報ヒューズランプ・継電
器及び工具を収容しています。

(注) 回路プリント基板などのユニット化された予備部
品は、別途。

株式会社 T.I.C.

本社 東京都新宿区下宮比町1番地 〒162 TEL.03(268)2261・3221(代表)

営業所 東京都新宿区下宮比町1番地(本社内) 〒162 TEL.03(268)2261・3221(代表)

大阪市東区京橋前之町2番地 〒540 TEL.06(941)6594~7

福岡市大名1丁目12街区27号 〒810 TEL.092(78)5961

札幌市北6条西6丁目2-12 〒060 TEL.0122(74)3855

名古屋市中区老松町4丁目43番地 〒460 TEL.052(262)7737

広島市八丁堀12番9号 SYビル 〒730 TEL.0822(28)6721

小金井工場 東京都小金井市前原町5丁目6番12号 〒184 TEL.0423(83)2221(代表)

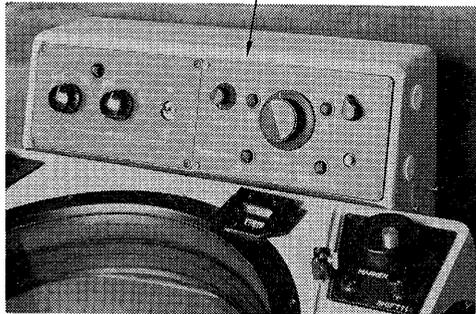
0423(83)2227
(設計課直通)

大淀工場 大阪市大淀区中津浜通5丁目28番地 〒531 TEL.06(451)4738

衝突防止用

レーダオート・プロッタ

マリン・レーダに装備された
オート・プロッタ



従来ご使用いただいております東京計器のマリンレーダMR-120およびMR-160シリーズに付属装置として、取り付けることによって、容易にレーダによる衝突防止の目的を果すことができます。

特長

●経済的です——

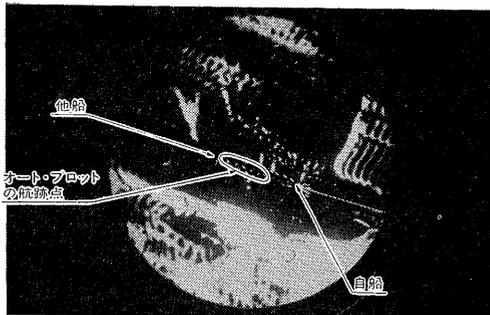
衝突予防のため指示器を別に用意する必要がありませんので経済的であるばかりか、一つの指示器の映像面に生ビデオ信号と衝突予防のためのマーク信号を重ね合わせていますので、他船の動きをきわめて容易に判断することができます。

●全部の船に対して完全自動——

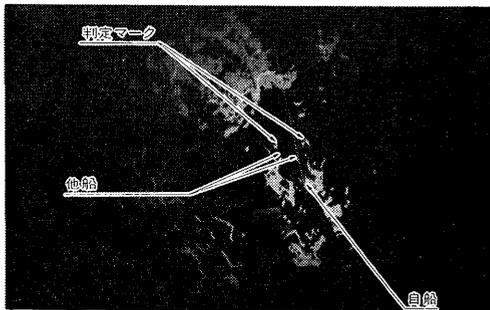
いかに他船が多っても、飽和することがなく、全部の他船に対して自動的に一定間隔時間毎にその位置を記憶し、これを一定間隔の航跡点として自動的にプロットします。

●ユニークな判定マーク——

ユニークな判定マークをすべての他船に対して30秒、(または1分)前の位置で自動的に作成します。このマークは自動的に新しい位置に対して更新されて、従来の生ビデオ信号に重ね合わされるので、他船の危険の度合を知ったり、他船の針路や速度を判定することができます。



レーダの使用距離範囲は3海里で本船と反航する他船の1分毎の過去の航跡点を5点示しています。



レーダの使用距離範囲は1.5海里でヘディング・マークa近辺の他船に対する判定マークを示します。

●直感的な判断——

この様な2種類の機能によって、他船の動きを直感的に、しかもきわめて短い時間(例えば30秒間)のうちを知ることができます。これら記憶された信号は電気信号ですので、任意時に押ボタンを押すだけで瞬間的に消去することができます。また更に記憶信号だけの輝度を生ビデオ信号と独立に制御することができますので、生ビデオとの比較がたやすくできます。

●広い融通性——

レーダが真方位指示、相対方位指示、トルートラッキング指示およびオフ・センタのいずれでも用いられます。またXバンド・Sバンドの区別もありません。

 **東京計器**

所在地 東京都大田区南蒲田 2-16 〒144

Tel: (03) 732-2111

2-16 Minami-Kamata Ota-Ku Tokyo

全世界・全天候性

東芝 NNSS測位装置 TOSNAVシリーズ

TOSNAV は航行衛星から送られてくるデータを受信し、自船の位置を求め、経済的かつ安全な船舶の航行を可能にするコンピュータシステムです。

東芝は、昭和45年国産第1号機を完成以来数多くのデータを蓄積し、よりすぐれたシステムを追求してまいりました。すでに各方面でご採用いただき、多大なご好評をいただいております。

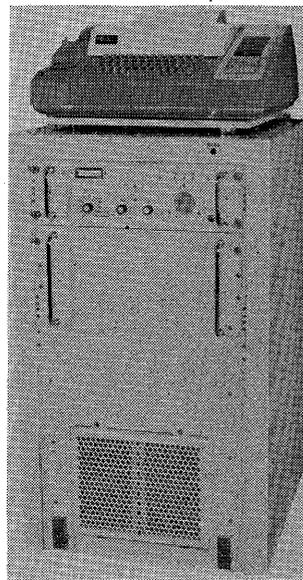
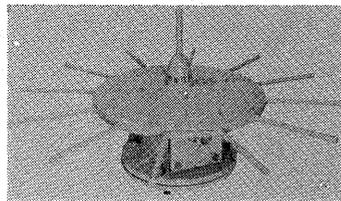
TOSNAV の特長

TOSNAV には豊富なプログラムが用意されています。

- (1) ショートドップラ方式の採用による高頻度。高精度の測位計算ができます。平均測位精度は0.2NMです。
- (2) 複数個の衛星電波を連続受信した場合、衛星の判別を行ない、それぞれについての測位計算ができます。
- (3) 再計算：最終受信時の測位計算を新しい船速・針路等に変更しての再計算ができます。
- (4) 推測航法計算：船速と針路のデータを与えることによって、任意の時刻の推測位置を計算することができます。
- (5) ACTUAL SPEED と TRUE COURSEの計算ができます。
- (6) 衛星通過時刻の予測ができます。
- (7) 測位精度の評価が容易です。
- (8) 簡易航法計算：出発点の位置・船速・針路・航走時間を与えることによって到着点の位置が求められます。

その他の特長

- 停電保護機能付き
- 操作が簡単
- セルフテスト機能付き
- IC ユニットによる高信頼性



東芝

東京芝浦電気株式会社

船用電子機器営業部

〒100 東京都千代田区千代田1-1-6(日々谷電電ビル)

TEL 03(501)5411(代)

航海の安全を願う沖の船用機器

5cm波12フィート空中線

3cm波12フィート空中線

5cm波送受信機

3cm波送受信機

信号処理装置

切換機

16吋PPI

衝突防止ディスプレイ (警報リンク設定)
(識別マーカ設定)
(衝突条件表示)

オキタイバ
(演算結果タイプアウト)

地図投影式航跡記録装置

ロラン

オートロラン

オメガ

接岸用ミリ波レーダ

衝突予防レーダ装置

沖船用機器株式会社

本社 〒221 横浜市神奈川区栄町1の2 ☎(045)441-8561(代)
 商務部 〒108 東京都港区海岸3丁目2番12号(安田倉庫ビル7階) ☎(03)455-4761(代)

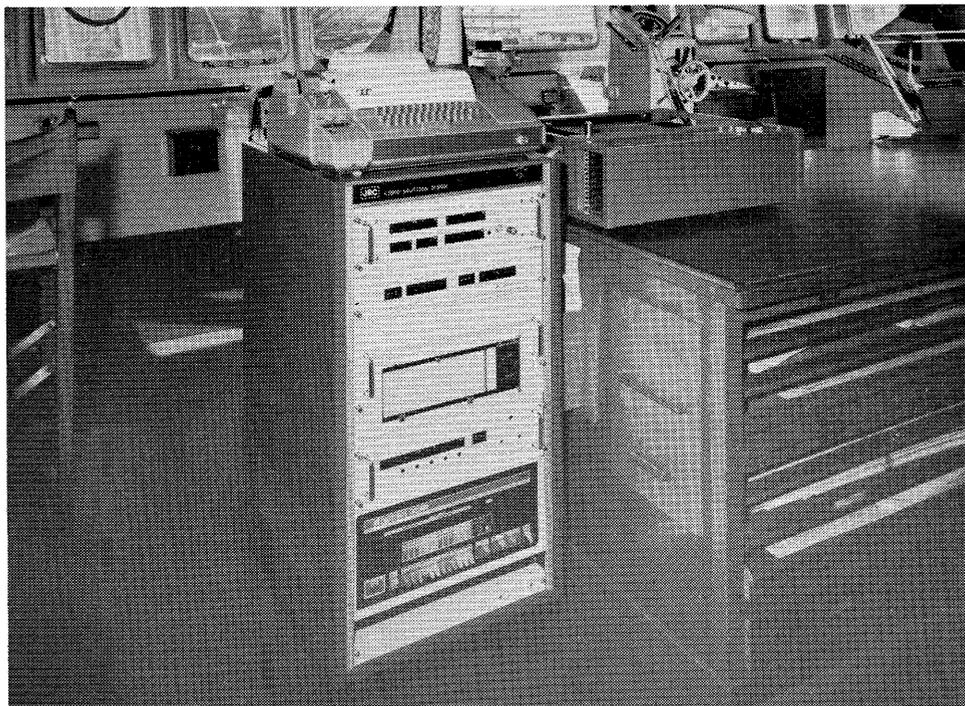
羽沢工場 ☎(045)381-7661(代)
 東京支所 ☎(03)455-3631-3
 静岡営業所 ☎(0542)52-3191-2
 北部支所 ☎(011)251-2953
 八戸営業所 ☎(0178)33-4136-7
 函館営業所 ☎(0138)42-6978
 釧路営業所 ☎(0154)23-6354-5
 花咲出張所 ☎(01532)3-8752
 関西支所 ☎(06)372-5612(代)

神戸営業所 ☎(078)291-0561-3
 香住出張所 ☎(07963)6-0622
 家島出張所 ☎(07932)5-1151
 呉営業所 ☎(0823)21-9271
 高松営業所 ☎(0878)21-7195
 西部支所 ☎(0832)66-5225(直)・2141
 長崎営業所 ☎(0958)26-7318-9
 大分出張所 ☎(0975)34-3899
 鹿児島出張所 ☎(0992)22-1672

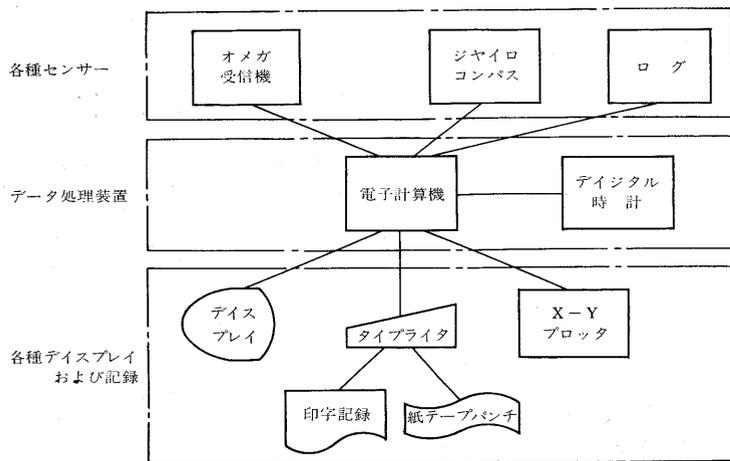
営業品目

- 航海用レーダ(7吋～16吋) ●オメガ ●ロラン ●無線装置 ●船用電話装置 ●船用火災報知機 ●船用水晶時計装置 ●船用無線模写受信装置 ●救難自動通報装置 ●船内指令装置 ●その他各種船用電子機器販売、据付工事、アフターサービス

ハイブリッド自動航法装置



- 既製の海図不用
- シミュレーションによる自動空間波補正
- 対話形式による誤操作のないテレタイプ入力
- 操作簡単
- 即座に表示記録
- 小形
- 常に高信頼



世界の海に世界の船に

JRC 日本無線

東京都港区芝西久保桜川町25 第5森ビル
電話 東京(591)(大代)3451
大阪市北区堂島中1の23 堂島中町ビル
電話 大阪(344)(大代)1631
福岡市中央区渡辺通り4の9の18号 福酒ビル
電話 福岡(76)(代)2636
札幌・仙台・八戸・清水・名古屋・神戸
舞鶴・呉・広島・長崎・熊本・鹿児島