

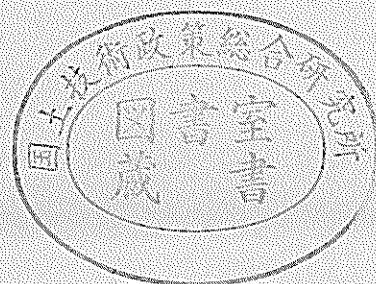
運輸省港湾技術研究所

港湾技術研究所 報告

REPORT OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH
INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT

VOL. 16 NO. 1 MAR. 1977

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



港湾技術研究所報告 (REPORT OF P. H. R. I.)

第16巻 第1号 (Vol. 16, No. 1), 1977年3月 (Mar. 1977)

目 次 (CONTENTS)

1. 石灰安定処理土の基本的特性に関する研究 (第1報)
.....寺師昌明・奥村樹郎・光本 司..... 3
(Fundamental Properties of Lime-Treated Soils (1st Report)
.....Masaaki TERASHI, Tatsuro OKUMURA, Tsukasa MITSUMOTO)

2. 海上航行船舶挙動に関する研究 (第2報) ——実態調査手法の確立——
.....奥山育英・早藤能伸・中辻 隆・佐々木芳寛・吉田行秀.....29
(A Study on Marine Traffic Behaviors (2nd Report) ——Establishment of
Methods of Marine Traffic Survey——
.....Yasuhide OKUYAMA, Yoshinobu HAYAFUJI, Takashi NAKATSUJI
Yoshihiro SASAKI, Yukihide YOSHIDA)

2. 海上航行船舶挙動に関する研究(第2報)

——実態調査手法の確立——

奥山育英*・早藤能伸**・中辻 隆**

佐々木 芳寛**・吉田行秀**

要 旨

本報告は第1報の観測法と解析法の確立を發展させ、観測法については、カメラによる観測と複数レーダの同時観測の手法を確立した。また、解析法については、方向別通過隻数と平均速力のウインドローズ表示、危険度、船の流れ、相対航跡、2船間の接近距離分布、ゾーン間OD隻数、交差点分布図を新たに開発し、航行船舶の実態観測から実態の把握までを著しく省力化、および時間の短縮化を図ったばかりでなく、在来マニュアルによる解析では、ほぼ不可能であった解析をも可能にした。

* 設計基準部 システム研究室長

** 設計基準部 システム研究室

2. A Study on Marine Traffic Behaviors (2nd Report)

—Establishment of Methods of Marine Traffic Survey—

Yasuhide OKUYAMA*

Yoshinobu HAYAFUJI**

Takashi NAKATSUJI**

Yoshihiro SASAKI**

Yukihide YOSHIDA**

Synopsis

In the 1st report, we referred to

- (1) Observation using a radars,
- (2) Data processing using electronic devices,
- (3) a few typical drawings using electronic computers.

In this report, we explain

- (1) Observation using cameras and many radars,
- (2) Various kinds of methods to analyze the characteristics of marine traffic,
- (3) Simplification of procedure to obtain various results.

* Chief of the Systems Laboratory, Design Standard Division

** Member of the Systems Laboratory, Design Standard Division

目 次

要 旨	29
1. ま え が き	33
2. カメラによる観測	33
3. 複数台のレーダーによる観測	36
4. 解析法の多様化	37
4.1 方向別通過隻数と平均速力のウィンドローズ表示	38
4.2 危 険 度	38
4.3 船 の 流 れ	38
4.4 相 対 航 跡	38
4.5 2 船間の接近距離分布	41
4.6 ゾーン間OD隻数表	42
4.7 交差地点分布図	42
5. 解析法指定の容易化	43
6. 今後の方向	47
6.1 理論の検証	47
6.2 移動船舶による観測	48
7. あとがき	49
参考文献	50

1. まえがき

第1報で観測法と解析法の確立の下で、レーダーによる航行船舶挙動の実態観測と、その観測結果の処理、および解析法として i) 航跡図、ii) ゲートライン通過隻数図、iii) 密度分布図、iv) ゲートライン通過時の速力分布図を時間帯、船種、船型、方向等の区分に応じて自動的に作図するシステムを紹介したが、本報告はその続編であり、観測法については、カメラを用いる観測とその観測結果の処理、および複数台数のレーダーを用いる観測法とその観測結果の処理について述べ、次に新たな解析法として、

航行船舶の方向別通過隻数と平均速力のウインドローズ表示

領域の危険度

ある時刻における船の流れ

一船からの他船の相対航跡図

2船間の接近距離分布

ゾーン間 OD 隻数表

交差点分布図

を付加した。

最近得た情報であるが¹⁾、ドーバー海峡でも航行船舶のレーダー観測画像から座標をグラフペンで読取り、コンピューター処理を施して航跡図を作成することが、1976年の3月から開始された。これは、我々に遅れること1年弱であり、このシステムが世界的な傾向の先端にあることを確認し、航行船舶の実態観測とその観測結果の解析法については完了したので、ここに発表する次第である。

もちろん、これらは実態の把握だけに留まるものにか過ぎず、観測して得られたデータは実際には海上交通工学上の未開拓の理論考証の裏付けとなる重要な情報をも有している筈であるが、それらは一朝にして為るものではなく今後の課題として残されている。とはいえ、かつてのマニュアル処理の解析法と比較して飛躍的に実態の把握が可能となったことも、十分に価値あることと思われる。現状では、理論的に取扱いよりもこれらの結果の図面によって実態が正しく把握されるというのも一面の真実であろう。

なお、実態観測については現在まで、

- i) 海上保安庁と日本海難防止協会による犬吠崎沖（陸上からの観測と巡視船からの定点観測）、剣崎沖、下田沖（陸上からの観測と巡視船からの定点観測）、伊良湖

水道、潮岬沖、来島海峡東口、来島海峡の西口²⁾

- ii) 第二港湾建設局、港湾技術研究所による東京灯浮標近辺、川崎航路入口付近、横浜本牧D突の三地点からの同時観測、および千葉京葉シーバース北側、中ノ瀬Dブイ南側、横浜本牧D突、観音崎の四地点からの同時観測³⁾

- iii) 第五港湾建設局による伊勢湾湾口部の3マイルレンジと8マイルレンジによる観測⁴⁾

- iv) 第四港湾建設局、港湾技術研究所による関門海峡の実態観測、具体的には大刀の浦、大瀬戸地区、六連地区、及び関門橋からの1台のカメラによる観測、大瀬戸地区の2台のカメラによる観測

- v) 海上保安庁と日本海難防止協会による犬吠崎沖、紀伊日ノ御崎沖、備讃瀬戸乃生岬沖、来島海峡西口⁵⁾のデータが当研究室に保存されており、iv)のカメラによる観測の一部を残してすべて船種船型（夜間で不明の場合もあるが）と共に時刻と座標値がMT化されている。

これらは、その調査の目的により前述の解析法が為されているが、すべてが為されているわけではなく、それらをすべて網羅して集大成したのが本報告であり、具体的な解析結果については、個々の調査報告書を参照されたい。

2. カメラによる観測

船舶の航跡を観測するためには、従来、レーダー撮影装置が利用されてきたが、これを補完するためにもカメラによる観測が必要である。比較的近距离（例えば1km以内）で、誤差を数メートル程度で観測を行う場合、偽像等によりレーダー映像の著しく画質が悪い場合、あるいはレーダーを運搬設置できない場合にはカメラに頼らざるをえない。

当所で保有しているカメラには、35mmシネサイズメモーションカメラ、ライカサイズのロボットカメラ、モータードライブカメラがあり、いずれもタイマーを内蔵する自動撮影制御装置と一体となって正確かつ確実な観測が可能であり、それぞれ次のような特徴がある。メモーションカメラはパルスカメラとシネカメラを併せもつ撮影機であり、機械的安定性が非常に優れているが、その反面、カメラ、制御装置、電源の間を結ぶ制御用のコード等を含む取扱いが煩雑であること、本体および制御装置の寸法、重量が非常に大きく軽便でないこと、画角が小さいこと、に対してロボットカメラおよび

モータードライブカメラは、機械的精度、フィルム送り機構など映画用カメラ程本格的にはなっていないが、重量、寸法も小さく、制御用コードは1信号用のもの2本だけで取扱いが非常に便利のため、高所での撮影に際しても、比較的容易に設置、観測が可能であることに加えて、画角が大きいため、より広い撮影範囲をカバーできる。

レーダー像は、船舶航跡が平面図として投影されるので、実際の航跡を求めるためには、画面全体が一様な伸びをするものとして、全体の縮尺を考えれば良いが、カメラによる場合は歪を考慮しなければならない。その近似的復元の方法として、景観図による方法があげられる。これは、カメラの位置と向きを定め航行船舶の撮影を行い、他方、地形にメッシュを入れた平面図を作成し、これをカメラの位置と向きで眺めた図面(図2-1)をスクリーンとして、観測したフィルムを投影してメッシュの位置から座標を読みとり、それを図2-2の平面図にプロットして航跡を得るという方法である。

上の座標読みとりをコンピューターによって機械的に行うことも不可能ではないが、カメラの位置と向きが容易には定めがたいので、直接座標変換する方法を採った。座標読取装置を備えたフィルムアナライザーに写しだされる画像(図2-3)の中から一直線上にない4固定点の座標 (X_i, Y_i) と、同じ場所での平面図の中で対応する固定点の座標 (P_i, Q_i) から、 i 番目がつくる直線が同一点で交わること、 (X_i, Y_i) および (P_i, Q_i) がそれぞれ同一平面上にあることから、

$$\begin{aligned} X_i \cdot A_1 + Y_i \cdot B_1 + C_1 \\ - P_i \cdot X_i \cdot A_3 - P_i \cdot Y_i \cdot B_3 = P_i \end{aligned}$$

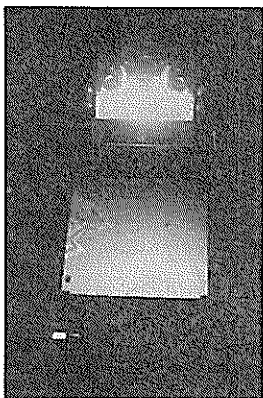


図2-3 フィルムアナライザーによる写真解析

$$\begin{aligned} X_i \cdot A_2 + Y_i \cdot B_2 + C_2 \\ - Q_i \cdot X_i \cdot A_3 - Q_i \cdot Y_i \cdot B_3 = Q_i \\ (i=1\sim 4) \end{aligned}$$

の8式が成立し、これから未知数 $A_1, A_2, A_3, B_1, B_2, B_3, C_1, C_2$ を求めれば、 $X-Y$ 平面の任意の点 (X, Y) は次式で $P-Q$ 平面の点に投影される。

$$\begin{aligned} P &= \frac{A_1 \cdot X + B_1 \cdot Y + C_1}{A_3 \cdot X + B_3 \cdot Y + 1} \\ Q &= \frac{A_2 \cdot X + B_2 \cdot Y + C_2}{A_3 \cdot X + B_3 \cdot Y + 1} \end{aligned}$$

$X-Y$ 平面としてフィルム面を、 $P-Q$ 平面として海面をとれば、メッシュ付景観図(図2-3)を通すことなく直接に求めることができる。

船種、船型、時刻等については、画面の余部でメニュー方式をとっても、または目視台帳のパンチカード化で照合してもいづれでも良い。

実際の例として、下図で観測したフィルムをアナライ

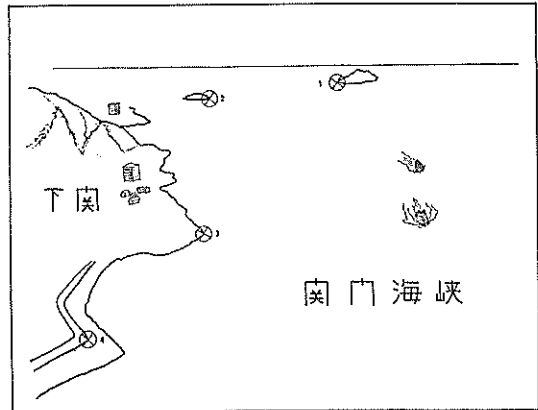


図2-4 写真フィルム画像上の4固定点

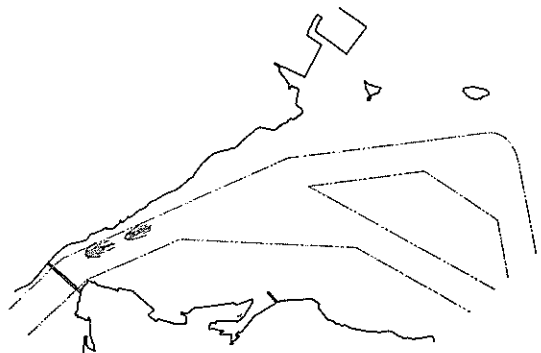


図2-5 写真上の船舶の平面図上に対応する位置

表 2-1

	フィルム 面上		平面 図 上		係 数		
	x	y	p	q	a	b	c
1	2607	2915	2777	2363	-0.06160	-0.48235	1758.8
2	1745	2826	2555	2313	-0.06183	-0.51170	1839.0
3	1650	1918	1920	1912	-0.00002	-0.00030	
4	935	1230	1846	1874			
船 1	3156	2008	1847	1829			
船 2	3160	2374	1954	1880			

ザーにセットし、判り易くするため画像をトレーシング
ペーパーに複写して描いた図 2-4 をもとに、上式を用い
て平面座標におとした結果が図 2-5 である。参考までに
載せると、この場合のフィルム座標、平面図座標および
係数は表 2-1 のとおりである。

なお、同一水域を 2 台のカメラで観測した場合は、1
台のカメラの場合の様に高度を必要とせず、平地でも可

能であるが、解析のためには 2 枚の写真で 1 対となるこ
とから予想外に煩雑となり、現在、関門海峡の観測デー
タに取り組んでいる。

3. 複数台のレーダーによる観測と解析

東京湾の実態観測については、まえがきにも述べた様
に複数台のレーダーによる同時観測を行っている。



図 3 東京湾全域航跡図

海上航行船舶挙動に関する研究 (第2報)

この場合でも、究極的にはレーダー間にまたがる同一船舶を同定さえすれば、1台のレーダー観測結果と同じことになり、以下の処理は全く異なる点はないので、同定の方法について述べる。

まず、隣接するレーダーの共通な点を2地点とってある絶対座標系による座標値を与え、その2地点の座標を基点として航跡、地形等の座標を決定する。

以上により、複数レーダーによるレーダー画像の各航跡等は、ある一つの絶対座標系の座標値で与えられる。

次に隣接するレーダー画像(円形である)の共通弦の方程式を求め、第1レーダーの航跡でその共通弦と交差するものについて交差した時刻と共通弦上の地点(わかりやすくするため一次元値とした)と船の進行方向、さらに共通弦をはさんだ両方向の4航跡プロットをすべて格納しておき、同様の処置を第2のレーダーでも行う。

この様にして、共通弦と交差する航跡を両方のレーダーから拾い、それらの間で、時刻、位置、方向でまず第1の照合を行い、照合した相手が複数個あるときには更に、共通弦にまたがる8点おしで第2の照合をしてつなぎあわせた。

さらに特に複雑なつなぎ方をして、これらの照合でも相手が定まらない場合は、両者の航跡座標をはじめとする判定に便利な数値を計算して印刷し、解析者がそれらをもて判断を下した。

この様にして、複数台のレーダーを通じて、つながった船の航跡図を図3に示す。

4. 解析法の多様化

現在、航行船舶挙動の実態観測結果は、レーダーであれカメラであれ、またそれらを複数台使用しようとも、最終的に船舶番号、発生時刻、船種、トン階等の船舶情報(調査によって異なる)、時間差 Δt と発生時刻およびその後 Δt ごとの船舶の位置座標が一連のデータとなって、一船づつ MT に保存される方法をとっている。

この MT を用いて、第1報では、航跡図、船舶密度分布図、ゲートライン通過隻数図、ゲートライン速度分布図までを紹介したが、その後、開発された解析法のうち比較的汎用性があるものを紹介する。この種類の実態調査では、ここに挙げていない各種の解析も必要となりそれらはその都度観測結果のデータテープを利用して行え

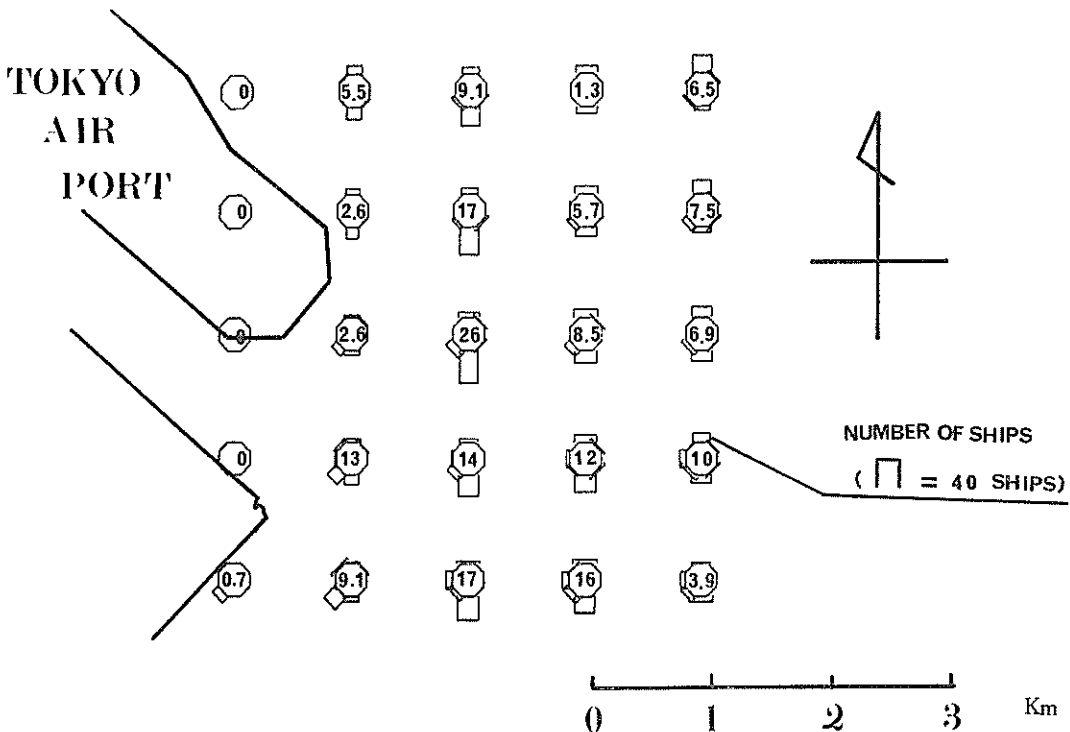


図 4-1 航行船の方向別ウィンドローズ表示と衝突の度合い

ばよい。

4.1 方向別通過隻数と平均速力のウインドローズ表示

海域を小領域に分け、その小領域へ入ってくる船舶の方向別隻数をウインドローズ形式で表示したのが図4-1である。方向別隻数であることから、小領域は四角形とせず円形領域とした。また、各方向へ突き出した花びらの幅は、その方向の船舶の平均速力を示している。

4.2 危険度

衝突確率に比例する量として、両船が互いに相手船を見るシルエット幅を考えた場合、2船の針路差を θ 、全長、全幅をそれぞれ、 L, L', B, B' とし、2船の速力がほぼ等しいと考えられるならば、2船間の相対衝突確率は下表で与えられる。

表4-1

θ	相 対 衝 突 確 率
0°	$0.25(B+B' + (L+L') 2.414)$
$0^\circ < \theta < 180^\circ$	$(L+L') \sin\left(\frac{180-\theta}{2}\right)$
180°	$B+B'$

ある海域でどれだけ相対的に危険であるかを調べるため、上の相対衝突確率を用い、危険の度合は、各方向別隻数の相乗積に比例するものとし、全方向の組みあわせについて加え合わせた数値例が図4-1の各ウインドローズの中にある数である。この例は、東京湾千葉沖に停泊させた観測船のレーダーによる羽田沖の航跡データをもとに、昭和50年9月3日12時から同月4日24時までに通過した船舶に関してウインドローズを算定した。ただし、 $L=L'=120\text{ m}$ 、 $B=B'=20\text{ m}$ と仮定し、平均速力が、ほぼ10ノットであることとした。

4.3 船の流れ

海上交通の実態について、最も単純でしかも容易に把握する方法は、船の流れを再現することである。

これは、時間の刻みを適当に小さくして、時々刻々の船の位置を図示し、それらをアニメーションの手法を用いて映画化することにより可能である。

図4-2は、個々の船の位置の時系列データが収納されている航跡MTから、昭和50年10月30日午後13時0分に横須賀沖を通航していた船舶の位置、方向、速力を計算機内で求め図化装置上に図示したものである。図中の矢印は船の進んでいる向きとその速さを表示している。

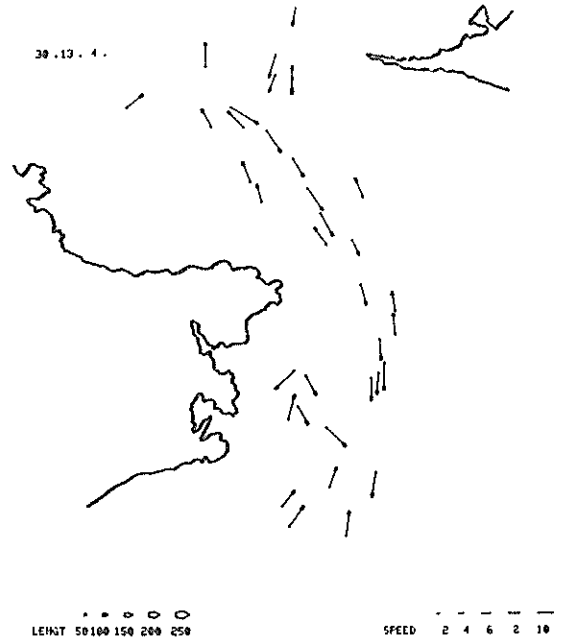


図4-2 流 船 図

第1報の航跡図、密度図、隻数分布図、速力分布図そして4.1のウインドローズ等が船の航行による累積の結果であったのに対し、こうして得られた映画フィルムは時々刻々の船の動きを示しているので、全体的に大きく見るならば、湾内交通流の管制といった問題に対して、また観測や解析によるデータの誤差を度外視して局所的に見るならば、船種、船型等特別に指定された船同士の行会いや、避航の実態に対して直接視覚に訴えた情報をわれわれに与えてくれる。

4.4 相 対 航 跡

陸上交通に車間距離があるように、海上交通には船舶の閉塞領域がある。これは、例えば、 L を船舶の全長とすると、前方 $8L$ 、後方 $2L$ 、横方向左右各々 $2L$ のバンパーを、すべての船がその全長に応じてつけていながら、船舶同士がお互いのバンパーにぶつからないようにして航行するという量である。これを計るには、自船を常に固定し、他船の自船に対する相対航跡図を求めれば容易に計ることが可能である。

図4-3のように得られた航跡図をもとにして、図内の太線で描かれた船舶に着目して、他船の相対航跡図を描くと図4-4のようになる。これを2船の出会い関係に応じて、行会い、同行、横切りに分類して描くと各々、図4-5、図4-6、図4-7のようになる。

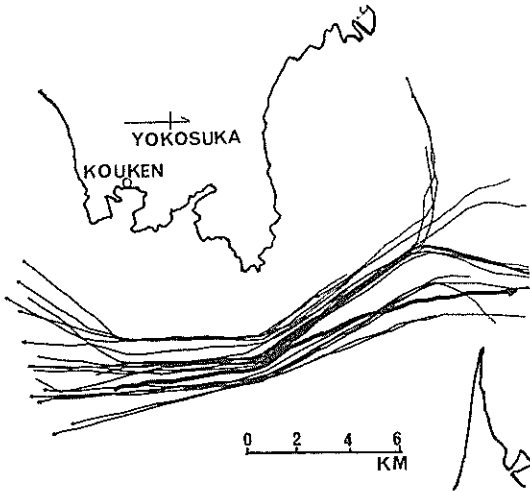


図 4-3 航跡図 (太い航跡が自船)

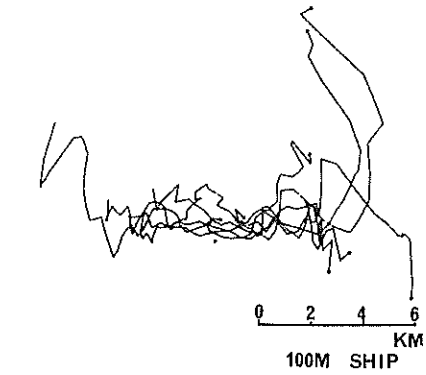


図 4-6 他船の相対航跡 (同行)

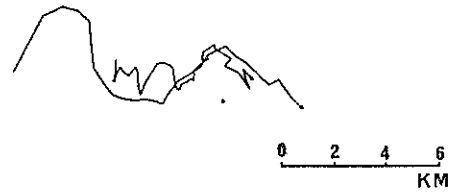


図 4-7 他船の相対航跡 (横切り)

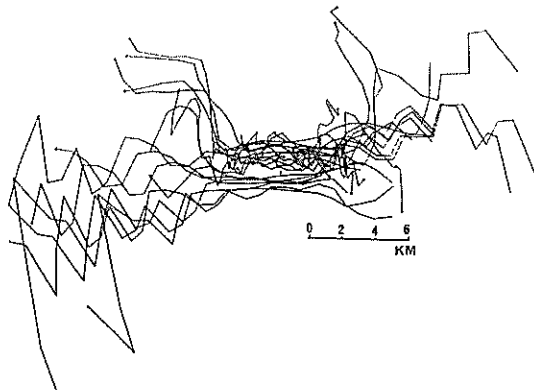


図 4-4 他船の相対航跡

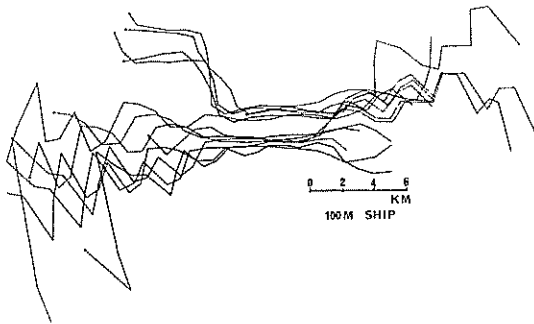


図 4-5 他船の相対航跡 (行き会い)

自船を次々に変えて、行会い船の包絡線を描いたのが図 4-8 である。

図を見てわかるように、他船の動きが、ジグザグとし

たものとなっている。特に、自船から遠くに離れるに従ってその傾向が著しい。これは、計算機の中で、船の航跡が、時々刻々の位置を単に直線で結んだ折線になっていることと、常に自船の向きをx軸のプラスの方向に固定しているために、自船のわずかな方向の変化でも、遠くにいる他船程、左右に振られる結果となることに帰因している。

今後、2船の出会い関係に応じて、相対航跡の包絡線を描いて、船の閉塞領域を論議する時には、曲線近似を用いた航跡の平滑化が必要となつてこよう。

図 4-8 は別な見方をすると、自船のレーダーで見たレーダー写真から得た航跡図ということが出来るが、一般大型船のレーダーは、ノースアップレーダーで、レーダー像は船の船首方向に無関係に地球表面上で一定方向を向くため、そのような船のレーダーで得たレーダー像をもとにして航跡図を作成すると、図 4-4~図 4-7 はそれぞれ、図 4-9~図 4-12 の様になる。

図 4-9~図 4-12 は、自船の向きの変化が、他船の位置に影響をもたないので、船の動きが滑らかなものとなる。

なお、これらの図で、自船は図 4-4~図 4-8 までは図面中央の▶印点で、図 4-9 以降は、船首方向が一定でないで中央の+印点で、長さ方向が縮尺どおりに表わされている。



図4-8 相対航跡包絡線

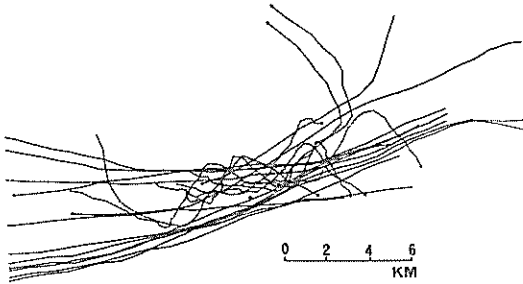


図4-9 他船の相対航跡 (ノースアップレーダー)

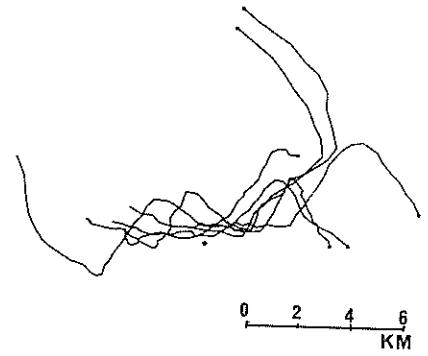


図4-11 同行船の相対航跡 (ノースアップレーダー)

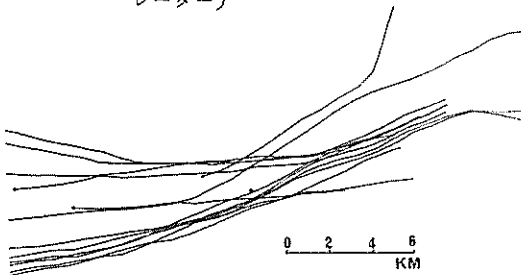


図4-10 行き会い船の相対航跡 (ノースアップレーダー)



図4-12 横切り船の相対航跡 (ノースアップレーダー)

なお、これらの船舶は昭和50年9月30日に行なった海上保安庁の観音崎の1.3cm波レーダーで視測したもので、太線で示されている自船は、12時26分から12時56分まで航行した船である。

行会い、同行、横切り等の出会い関係は、海上交通では、線交通である陸上交通とは違って、面交通であるので、定義が難かしく、未だはっきりと決まった概念が確定していない。

また、計算機の中で、出会い関係の判断を行う時、さきへのべたように航跡が折線であるために、船の向きの変化がなめらかでなく、そのため、必ずしも、実際に人間の目で見るとは、その出会い関係をはっきりと区別することはできない。

そこで、ここでは、自船に対する他船の出会い関係を、2船間の距離（ R ）とその進路交差角（ F ）により

$R \leq 2,000 \text{ m}$	
$ F < 20^\circ$	同行
$20^\circ < F < 160^\circ$	横切り
$ F > 160^\circ$	行会い

とし、さらに、同行は、1). 前方先行、2). 後方追従、3). 追い越し、4). 追い越されに、横切りは、1). 前方横切り、2). 後方横切り、3). その他の横切りに、そして行会いは、1). 行会いと区分した。ここで、その他の横切りとは、 $20^\circ < |F| < 160^\circ$ であっても、相手船の前方や後方を横切ることなく終ってしまった船のことである。

この定義は、まだ問題があり、数多くの例を調べて、多くの人の納得のいく定義を作ってゆかなければならない。

また、3船以上の見会い関係ということばも、現象では誰でも納得するが、一つ一つの具体例に対して明確に区別できる定義もないのが実情であり、現在得られたデータを統計的に処理して、誰もが納得のゆく定義をつかっていかなければならない。

4.5 2船間の接近距離分布

複数船の同行を認める航路、一方通航の航路等の航路巾をきめようとする時には、お互いの船が、安全上どこまで接近することができるかが、あらかじめわかっていたら非常に計画がたて易いし、その後の不都合さもある程度予測できる。

また、航路航行船舶のシミュレーションにより、計画の妥当性を確かめたいようなとき、場合によっては、シミュレーションに必要な入力情報として、2船間の接近距

離分布を必要としよう。

さらにシミュレーション結果を得たとき、そのシミュレーションが現実をうまくシミュレートしていたかどうかを判定する簡便な方法として、シミュレーション実施中に船舶間の接近距離分布を求めておき、それが現実の場合と比較して大差ないということは、シミュレーションが正しいということの（数学でいう）必要条件であり、シミュレーションの正しさのチェックになるのである。

航跡 MT より、さきへのべた定義に従って、2船間の最近距離分布を求め図示したものが図4-13～図4-15である。

図4-14は 前方先行、後方追従、追い越し、追い越されを一括表示したものであり追い越し、追い越されについては、その現象が生じた時の2船間の距離を最近距離としている。同様に図4-15は 前方横切り、後方横切り、その他の横切りをまとめた図であるが、前方横切り、

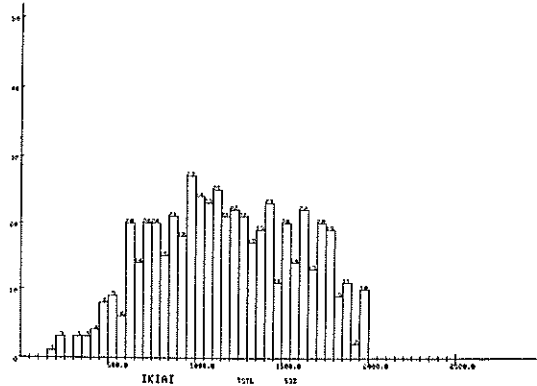


図4-13 行会い船の最近接近距離分布

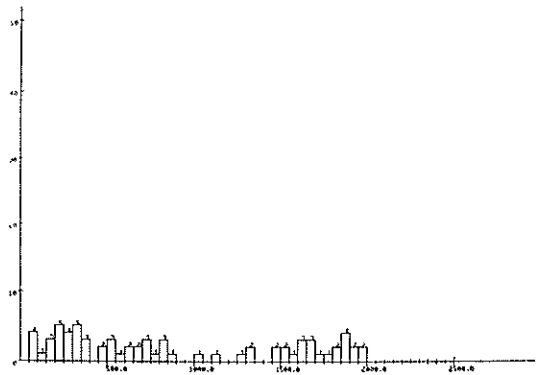


図4-14 同行船の最近接近距離分布

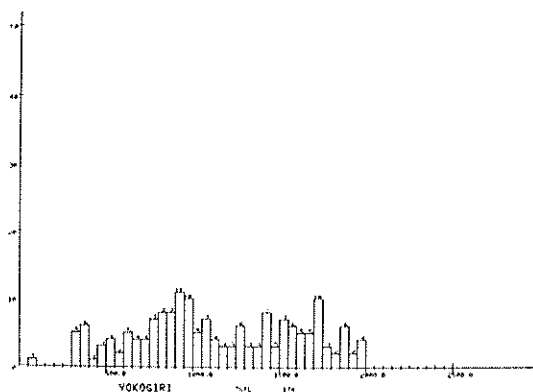


図 4-15 横切り船の最近接距離分布

後方横切りとも、必ずしもそうなるとは限らないが、それらの現象が生じた時の距離を最近接距離としている。

ここで用いたデータは、4.4と同じく、観音崎レーダーによる浦賀水道の実態調査のうち、さきのべた時間内に得られた全船舶についてまとめたものである。

4.6 ゾーン間 OD 隻数表

船路の計画や、シミュレーションのインプットとして最も基本的な情報はゾーン（エリア）間に通航する船舶の種類、大きさそして隻数の分布である。

対象とする全エリアを図 4-16 に示すようにゾーンに区分けし、航跡の始点と終点とから O ゾーン、D ゾーンを決め、船種、船型別の通航隻数をカウントしたものが表 4-2 である。

用いたデータは、昭和 50 年 9 月 30 日～31 日に実施

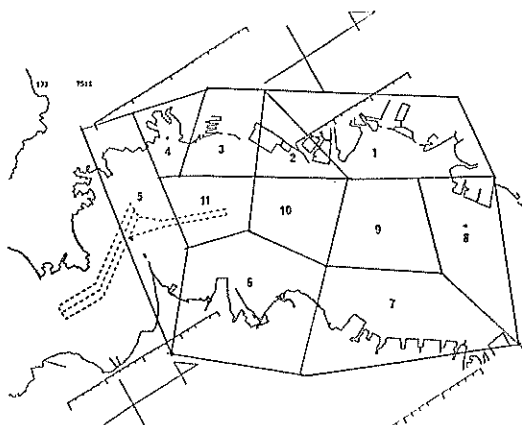


図 4-16 ゾーン区分図

された東京湾航行実態調査観測の結果より得られたものである。

4.7 交差点分布図

本航路を横切るフェリー航路を通航するフェリーと本航路船との横切りは、危険な状態になっていないのか、中ノ瀬から横浜、川崎に向う船と千葉、木更津方向から中ノ瀬に入る船とは、衝突の危険性がないのか等々の問題に対し、これまでのべてきた航跡図、密度図、隻数分布図、ウインドローズ等は、必ずしも充分明確な情報をわれわれには提供してくれない。なぜならそれらは、時間に関する積分であり、時々刻々の船舶間の位置関係については何も考慮してないからである。

さりとて、4.3 で述べた映画フィルムで、時々刻々の

表 4-2 ゾーン 隻 数 (全船種, 全船型, 50 年 9 月 3 日 12 時～18 時)

ORIGIN-DESTINATION	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0												
1		38	39	0	0	1	11	9	7	1	14	1
2		12	7	17	0	11	4	3	0	2	0	8
3		0	17	8	1	35	4	2	1	2	3	3
4		0	0	0	0	10	0	0	0	0	3	0
5		2	1	12	3	2	3	2	2	2	15	4
6		6	5	6	0	7	7	1	2	3	15	3
7		5	20	4	0	6	6	5	1	4	35	28
8		10	6	0	0	0	3	1	4	1	8	6
9		5	9	2	0	3	3	3	0	0	16	9
10		5	15	5	0	54	18	17	5	5	23	22
11		6	3	2	0	12	0	5	3	7	11	6

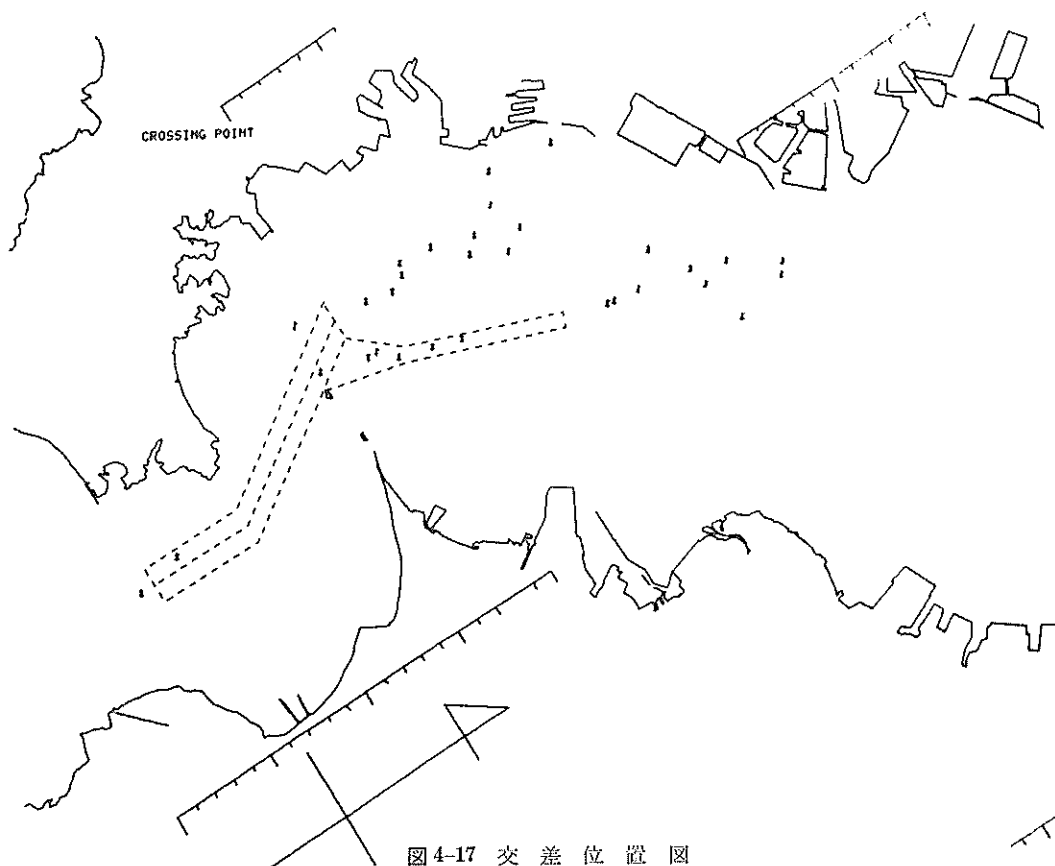


図4-17 交 差 位 置 図

船の流れを再現して、横切りの状態を観察することは労力がかかりすぎる。

そこで、指定された時分以内に、指定された角度幅でお互いの航跡が交差した2船の交差点をプロットすることにより、求める情報とした。

図4-17は、今までにものべてきた東京湾全域レーダー観測によって得られたデータを用いて、2分以内に、交差角 (F) $20^\circ < |F| < 160^\circ$ で、お互いの航跡がクロスしたその交差点をプロットしたものである。

5. 解析法指定の容易化

ここでは典型的な解析法における解析指定の容易化と正確化を以下のようにして実現した。

航跡データ解析のデータ処理には、典型的な解析法だけに限ってみても各種各様の解析ができ、また別の面から煩雑さが増大し、誤りやすい面も生じてきた。すなわち、例えば、3日の午後5時と午後8時の間及び……の間の船種が×××に限って、トン階は○○○で、メッ

シュを△△△に切って、 L^2 換算の□□□を求めようという具合に注文をつけ、さらに、それらの注文が、1海域に数十以上に及ぶことも稀でなくなると、カードでそれらを入力することが、非常に誤りを伴うことに直面した。

これは、解析プログラムについても同様にいえることで、できるだけ汎用性を持たせるようにつとめたため、解析指定のデータカード枚数が多くなり、入力方法の改善が必要となったので、航跡プロット図のメニュー化の考え方を応用して、図5-1.1、図5-1.2の典型的解析の注文票を考案した。これは、該当する各欄を記入方法に従って○印で囲んでいくだけでよく、この注文表と、図5-2の中で示される解析のための設定図と対して、解析の指定を行う。電算機に入力するには、これら図面を座標読取装置にはって、特定の2点を位置決め目的で、プロットしてから、これらをなぞっていくことにより、指定のインプットがいとやすくと紙テープにパンチされることになり、カードにして1,000枚にもなるデ

観測地	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10											
図の種類	航跡図		密単	疾し	図	ゲートライン	速力分														
図面番号	10位	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9										
	1位	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9										
時間条件	1	2	3	4	5	日		1	2	3	4	5									
			午前		午後			午前		午後											
	1	2	3	4	5	日		1	2	3	4	5									
		午前		午後			午前		午後												
1	2	3	4	5	日		1	2	3	4	5										
		午前		午後			午前		午後												
船種	貨	タ	旅	フリ	水翼	曳	押	その他	不明												
トン階	M	ミニ	小	中	大	巨															
ゾーン群	①	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	②	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	③	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	④	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	⑤	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	⑥	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
到着ゾーン群	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ その他																				
出発ゾーン群	①																				
	②																				
	③																				
	④																				
	⑤																				
	⑥																				
	その他																				

図5-1.1 解析注文表 1

海上航行船舶挙動に関する研究（第2報）

通過方向			基 線 番 号 (上段10位下段1位) 除外進入角 (10位) (1位)																	
基 線 条 件	㉠	左	両	右	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	0	解 析 用
					0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	5	6	7	8	5	
	㉡	左	両	右	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	0	解 析 用
					0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	5	6	7	8	5	
	㉢	左	両	右	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	0	解 析 用
					0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	5	6	7	8	5	
	㉣	左	両	右	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	0	解 析 用
					0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	5	6	7	8	5	
	㉤	左	両	右	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	0	解 析 用
					0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	5	6	7	8	5	
	㉥	左	両	右	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	0	解 析 用
					0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	5	6	7	8	5	
㉦	左	両	右	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	0	解 析 用	
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	5	6	7	8	5		
㉧	左	両	右	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	0	解 析 用	
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	5	6	7	8	5		
㉨	左	両	右	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	0	解 析 用	
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	5	6	7	8	5		
㉩	左	両	右	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	0	解 析 用	
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	5	6	7	8	5		

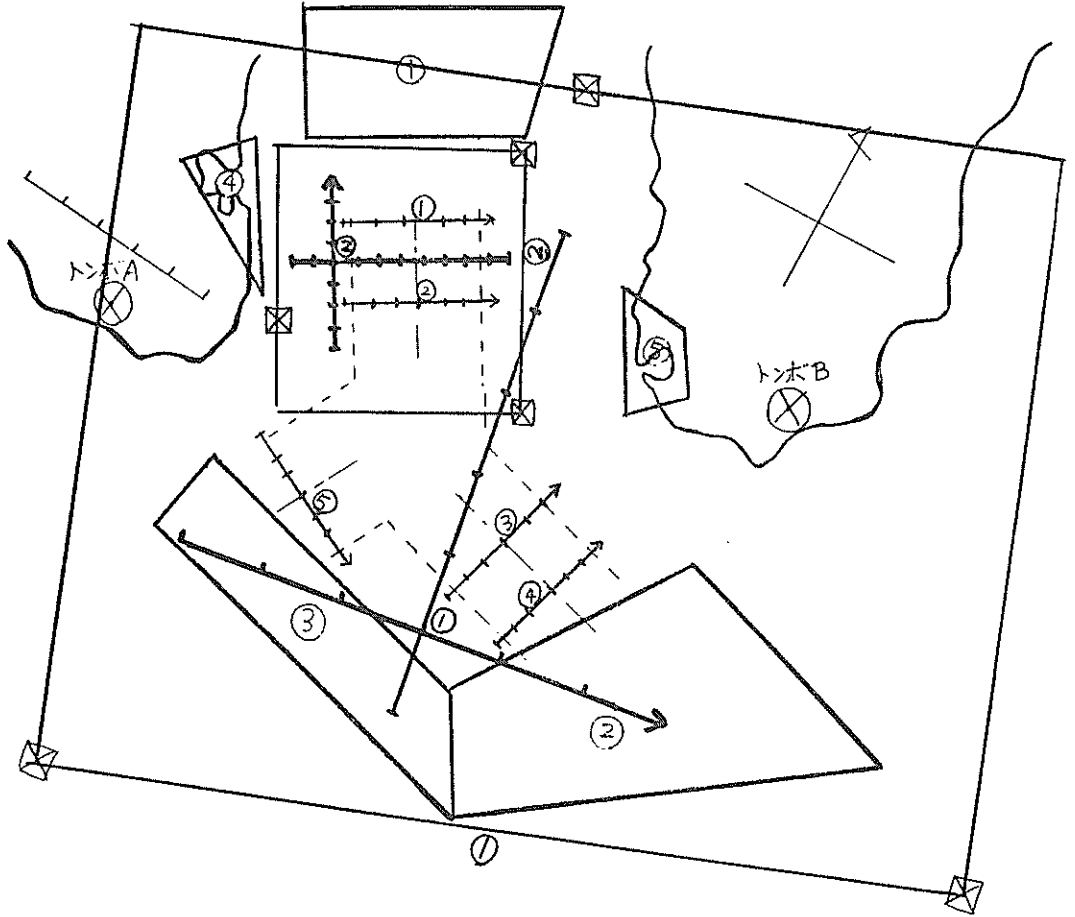
方向判定条件 の基線組合せ	OR	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	AND	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	AND	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	AND	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	AND	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J

使用メッシュNo	1	2	3	4
----------	---	---	---	---

ヘッドコピーのラックの選 択	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
----------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

重ね書き枚数	1	2
--------	---	---

図5-1.2 解析注文表 2



または、AB間の距離を入力とする。

基準点(トンボ座標原点)の経緯	北緯	°	'	"	東緯	°	'	"	
	トンボ座標	A			m			m	
ハードコピー枚数(合計)	枚	B			m			m	
	航跡図				枚				
		密度図				"			
		通隻図				"			
速力図					"				

図5-2 解析設定図例

ータが、直径7cm程度の一巻にでき上る。これによってインプットの労力の読み合せの10%を除く90%の数の組合せから解放される。

6. 今後の方向

前回の第1報とあわせ、これでひとまず航行船舶の実態観測とその結果の処理により、直に航行実態についての情報を入手することが容易になった。もちろん、以上述べてきた解析法以外でも必要な事柄が生ずるのであろうが、それは観測結果を整理したMTを操作することによってまず簡単に求められよう。

従って、ここではそれら多数の解析法ではなく、このシステムの利用と発展について述べる。

6.1 理論の検証

海上交通工学は陸上の交通工学と比較すると、対象である船舶が陸上の自動車に対して型、種類等の範囲が広いこと、および面交通であることから、きめこまかな理論が完成されていない。

しかしながら、他分野の理論を応用したり、シミュレーションあるいはシミュレーターの利用により、また経験的法則から、新理論が生れてくる可能性は非常に大である。その様なときには、現在当研究室で保有している実態観測結果のMTは理論の検証に必ず必要となる。もちろん、検証ばかりでなく、これらのデータを整理解析していくことは新理論の確立にもつながることが考えられようが、それは我々に課せられた今後の課題である。

ここでは、理論の検証の一例として、4.2で述べたマクロ的な危険度とは異るもっとよりマイクロな危険度の理論の検証を行う。

これは、商船大学の小林助教授により案出された2船間の危険度の概念で、経験を積んだ航海士に操船シミュレーターを運転させて次の仮説から導かれる結果と照合して見つけた量である。

- i) 2船間の距離 R が近いとき程、危険量は増加する。
- ii) 接近速度 \dot{R} が負のとき、危険量は増加し、0または正のとき危険量は増加しない。
- iii) 自船の進行方向から相手船への方角 α は、小さいもの、すなわち船首方位にあるものほど避航の効果があらわれやすいので、危険量は減少する。
- iv) 方位の変化率 $\dot{\alpha}$ の大きなものほど危険度は減少する。

以上より、

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

ここで、

$$C_1 = -\dot{R}/R$$

$$C_2 = a(x - \alpha)$$

$$C_3 = b(\beta - |\dot{\alpha}|)R$$

変形して、

$$C(t) = ax(t) - b/\dot{x}(t)/R(t) - \dot{R}(t)/R(t)$$

を得、 a 、 b は $a = 1.5 \times 10^{-4}$ 、 $b = 3.75 \times 10^{-5}$ とするとシミュレーターによる実験結果と一致することを見つけた。

この値をもとにして、 C を求めることを試みる。

まず、利用データは2船の出会いが起るものを選ぶこととし、その結果、来島海峡西部の観測データから昭和50年7月29日13時30分からのものを用いた(図6-1~2)。

データは1分毎であったので、曲線近似で補間して20秒毎のデータを作り、上式の微分方程式を差分方程式にして、 C を各相手船に求めると図6-3となる。

これによると、当然のことながら、交差寸前に C の値が非常に高くなっていることが認められる。

この考え方は、船舶のかわりに弧立ブイ、縦列ブイ、あるいは港内の岸壁等、水域固有の危険量を計り、よりよい水域の計画を作成できるような量に拡張してゆくこ

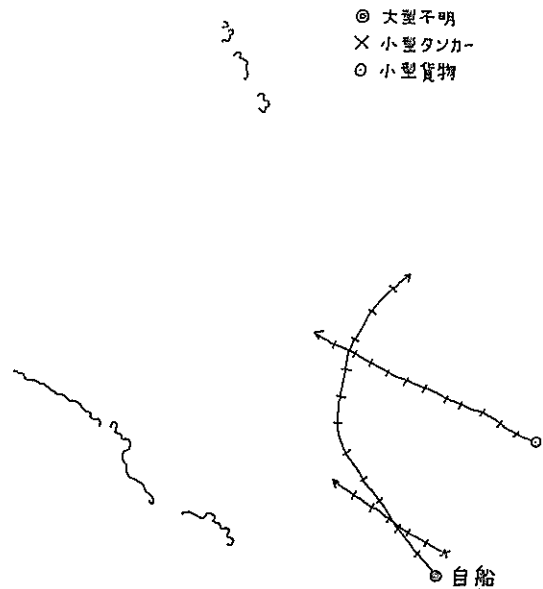


図6-1 自船と相手船の相互位置

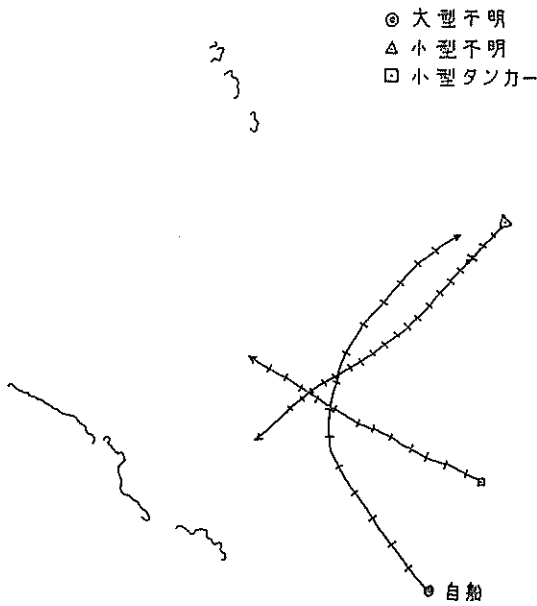


図 6-2 自船と相手船の相互位置

とができよう。

6.2 移動船舶による観測

日本沿岸とか、マラッカ海峡の様な非常に長い水域を固定点観測することは、レーダーの台数を相当増さない限り不可能であり、ある程度定常流であると考え、航行中の船舶レーダーで他船の交通状況を観測することが有効になる。

この考えに従って、運輸省航海訓練所と日本海難防止協会が共同研究を行って、訓練船により現在までパナマ地域、マラッカ海峡、東京神戸間の沿岸他で、航行中のレーダー観測を行い、マニュアルでデータ整理を行っている。この場合、船舶の位置は別途与えているが、位置情報が正しければ、容易にすべての船の絶対座標が求められ、当システムを利用すれば作業は非常に容易になる。この為のプログラミングも容易であるが、位置の精度が結果を左右させよう。この観測結果の処理も今後の課題である。

参考までに、航行中の船舶によるレーダー画面を図 6-4.1~4 に示す。これは、訓練船の銀河丸が昭和 51 年 10 月 12 日に、青森県平館海峡(陸奥湾出口)から津軽海峡へ向った際に撮影したレーダー画像の一部である。

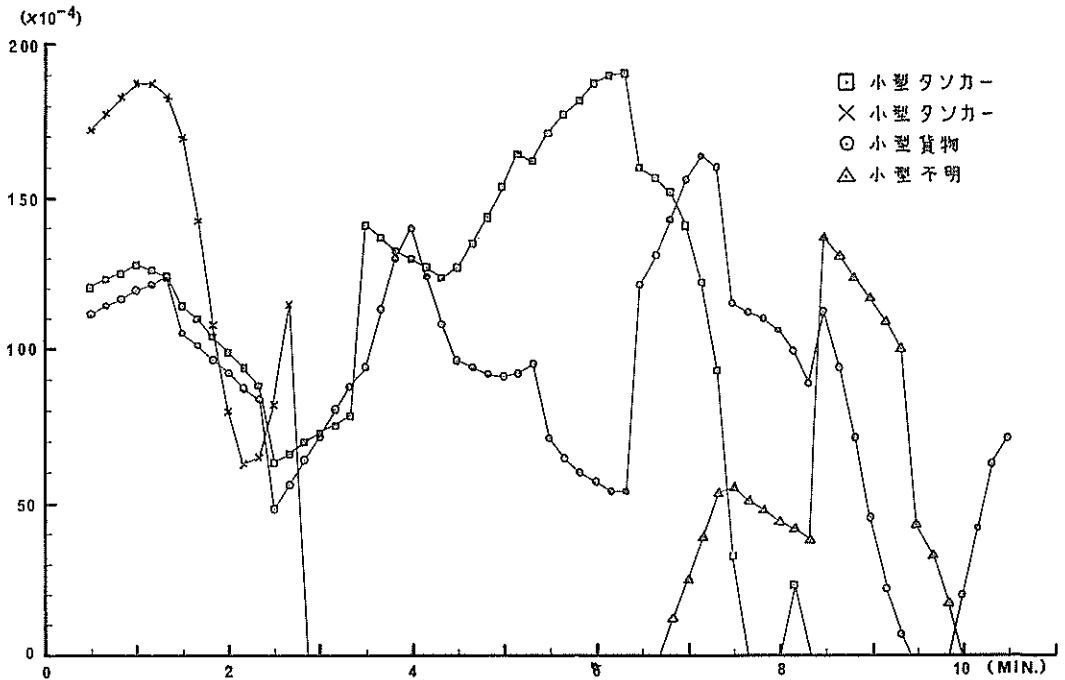


図 6-3 2 船間の危険度の推移

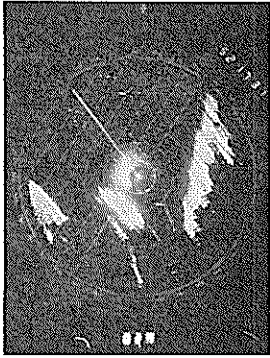


図6-4.1 航行船がとったレーダー写真



図6-4.3 航行船がとったレーダー写真

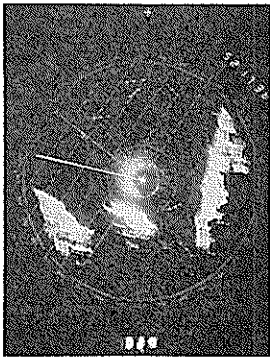


図6-4.2 航行船がとったレーダー写真

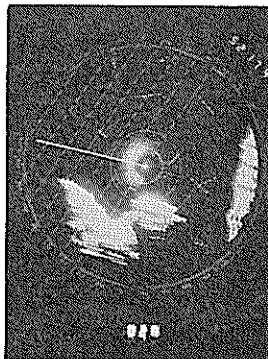


図6-4.4 航行船がとったレーダー写真

7. あとがき

海上航行船舶挙動に関する研究として、第1報、第2報とまず実態の把握を目的として精力を費やしてきたが、その間にもこのシステムの利用の需要が多く、改めて海域の交通実態の把握が為されていなかったことを痛感した。

このシリーズは現時点では、3.4.5報で海上航行船舶のシミュレーション3部作、すなわち、交通流をマクロ的に把えて航路体系を評価するネットワークシミュレーション、管制を考慮する管制シミュレーション、細いミクロの動きを追う操船シミュレーションを予定している。

シミュレーションは入力データを作りさえすれば、すぐ動きだして結果は出るが、入力データを如何に正しく求めるか、そして、出力の結果が妥当であるかのチェックは、現実ケースの入力に対して現実の結果と大差ないという消極的な方法しか有り得ない。その為には、現在、当研究室にある海上交通データは非常に貴重なもの

であり、その解析プログラムは、それらの特質を純化する役割を担っていよう。

6報以後は、シミュレーションの入力の為の解析を行うことと、既に述べているようにこれらのデータ解析を徹底的に行う予定である。

第1報と第2報だけでも、港湾局、港湾建設局、海上保安庁、日本海難防止協会には大々的にお世話になり、深く感謝すると同時に今後の御協力も強くお願いする次第である。

とくに、船舶の航行実態に関する共同研究の相手方である日本海難防止協会の塩原礼二郎安全調査部長、森展正氏、藤原哲氏、および海上交通実態調査委員会の委員長巻島勉東京商船大学教授をはじめとして、矢島鳥羽商船高等専門学校教授、平野新太郎海上保安大学校教授、藤井弥平電子工法研究所研究企画官、田中健一船舶技術研究所体系工学研究室長の各委員の方々の助言と励ましがなければ、このシステムはまず完成していなかった。重ねて深謝の意を表する次第である。

(1976年12月11日受付)

参 考 文 献

- 1) A. クパール；カレー海峡（ドーバー海峡）における海上交通の監視と規制，運輸研究所報告，No. 15，1976，藤井弥平訳
- 2) 狭水道，沿岸における船舶交通の実態調査，日本海難防止協会，昭和51年3月
- 3) 東京湾船舶航行実態調査報告書，運輸省第二港湾建設局，昭和51年3月
- 4) 伊勢湾湾口部船舶航行実態調査，運輸省第五港湾建設局，昭和51年3月
- 5) 奥山，早藤，佐々木，中辻；海上航行船舶挙動に関する研究（第1報）—観測法と解析法の確立—，港研報告，第15巻第1号，1976年3月
- 6) 奥山，早藤，中辻，佐々木，吉田；水域計画手法に関する研究，昭和51年度港湾技術研究所講演会講演集，1976年12月
- 7) 狭水道，沿岸における船舶交通の実態調査，日本海難防止協会，昭和52年3月（予定）