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. 17 NO. 1 MAR. 1978

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN

国土技術政策総合研究所
図書室
蔵書

港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第17巻 第1号 (Vol. 17, No. 1), 1978年3月 (Mar. 1978)

目 次 (CONTENTS)

1. 徳島空港延長に関する漂砂模型実験

…………………………………… 佐藤昭二・小笹博昭・永井紀彦…… 3

(Model Experiment on Branch Profile Change due to the Runway Extension of Tokushima Airport ………………Shoji SATO, Hiroaki OZASA and Toshihiko NAGAI)

2. 砕波帯内諸現象の総合観測システムと観測例

…………………………………… 田中則男・小笹博昭・加藤一正
柳島慎一・小笠原昭・小山内英雄……57

(Methods and the System of Field Observation of Phenomena in Surf Zone and some Aspect of the Surf Zone ……Norio TANAKA, Hiroaki OZASA, Kazumasa KATO, Shin-ichi YANAGISHIMA, Akira OGASAWARA and Hideo OSANAI)

3. 沿岸波浪推算法についての考察——港湾における実施上の問題点——

…………………………………… 高橋智晴・広瀬宗一・佐々木徹也……89

(Consideration on the Coastal Wave Hindcasts—Problems in Excuting Wave Hindcasting— ……Tomoharu TAKAHASHI, Munekazu HIROSE and Tetsuya SASAKI)

4. 海上航行船舶挙動に関する研究（第3報）
——広域水域における実態調査手法——

…………………… 奥山育英・早藤能伸・吉田行秀・中辻 隆… 119

(A Study on Marine Traffic Behaviors (3rd Report)—Marine Traffic Survey in the Broad Expase of Water Area— ……………………………Yasuhide OKUYAMA, Yoshinobu HAYAFUJI, Yukihide YOSHIDA and Takashi NAKATSUJI)

港湾技術研究所報告
第17巻第1号（1978. 3）

海上航行船舶挙動に関する研究（第3報）
——広域水域における実態調査手法——

奥山育英*・早藤能伸**
吉田行秀**・中辻　隆***

要　旨

すでに第1報および第2報で海上交通実態の観測手法と観測データの処理法および解析システムを報告したが，本報告は，前報で比較的簡単にしかふれていない広域海域における観測法，すなわち，複数のレーダーによる観測と移動船舶による観測をとり扱った。さらに，在来の解析においては静的な結果しか得られず，海上交通実態のもつ動的な部分がすべて消失してしまうことから海上交通実態の 16 mm 映画を電子計算機から直接作成する試みを行い，複数レーダーによる 24 時間分の観測を約 12 分の映画にまとめた。この試みの成功により，動的な実際の動きを把握するには 16 mm 映画を，また純化された静的な海上交通特性をみるには在来の解析結果を参照することにより，海上交通実態の把握がなされるに至った。

* 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
*** 前設計基準部　システム研究室

REPORT OF THE PORT AND
HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
Vol. 17 No. 1 (March 1978)

A Study on Marine Traffic Behaviors (3rd Report)

—Marine Traffic Survey in the Broad Expanse of Water Area—

Yasuhide OKUYAMA*
Yoshinobu HAYAFUJI**
Yukihide YOSHIDA**
Takashi NAKATSUJI***

Synopsis

In this report, we established the methods of marine traffic survey in the broad expanse of water aria such as Tokyo Bay or Japanese greater coasting area, and the data processing methods.

In the case of Tokyo Bay, four radars are used, and in the case of the greater coasting area, a radar on the moving vessel is used.

About the results of the survey, we newly established the methods of making a 16 mm movie of marine traffic behaviors in the broad expanse of water area by the aid of COM (Computer Output Microfilming), adding to the statical diagrams or tables of the characteristics of marine traffic developed in the 1st and 2nd reports.

* Chief of the Systems Lavoratory, Design Standard Division
** Member of the Systems Lavoratory, Design Standard Division
*** Ex-member of the Systems Lavoratory, Design Standard Division

目　　次

1. まえがき …… 123
2. 複数のレーダーによる観測法と観測データの処理法 …… 123
　2.1 航行実態観測の概要 …… 123
　2.2 観測データの処理 …… 124
　2.3 動的な航行実態の表示 …… 125
3. 移動船舶による観測法と観測データの処理法 …… 130
　3.1 観測方法について …… 130
　3.2 観測データの処理法 …… 130
　3.3 適用例 …… 133
4. あとがき …… 133
参考文献 …… 133

1. まえがき

第1報および第2報において報告したように，海上航行船舶の交通の実態をマクロ的に観測して解析する手法を確立し，海上交通の実態を把握することが容易となった。

第3報においては，1箇所の観測地点だけでは対象水域の実態を部分的にしか把握できないような非常に広大な水域における海上交通の実態を把握するための観測手法と観測結果の解析手法を，複数の観測箇所による方法と移動船舶による方法を報告する。

これらの方法によって観測された結果も，究極的に，船種・船型等の識別と時々刻々における船位の絶対座標値が求められさえすれば，第1報および第2報で開発された解析プログラムによって，得ようとする情報がただちに求まるわけであり，そのため本報では，船位の絶対座標を求めるまでを主眼においている。

なお，解析結果に関しては，従来の静的な図面からダイナミックな航行の実態を損わないように努め，最終的に第2報で述べている解析結果の一つである「船の流れ」を利用して，動きを有する交通実態そのものを，コム (computer output microfilming) によって直接電子計算機から 16 mm 映画とする手法を確立した。その結果，船舶の動きが視覚でとらえられ海上交通の実態が非常に身近になったと同時に，解析作業もフィルムアナライザーを利用してマニュアルで行える領域が増大した。

2. 複数のレーダーによる観測法と観測データの処理法

2.1 航行実態観測の概要

ここでは，複数のレーダーによる観測として，船舶交通の輻輳の著しい広大な水域である東京湾内の航行実態観測の例を報告する。

東京湾内においては，周知のように，経路が縦横に交差し，しかも航行船の中には原油タンカー，液化ガス，ガソリンタンカー，カーフェリー等，その事故が重大な結果を招く船舶が多数存在している。そのため，東京湾の船舶交通の安全対策樹立のための基礎資料を得る目的で，東京湾全域にわたって複数のレーダーでカバーして東京湾内における船舶航行の実態を同時観測した。これにより，在来の観測・解析法に加えて広域水域における航行実態調査の確立をはかった。

この調査は，図-2.1.1 に示されるようにレーダーを設

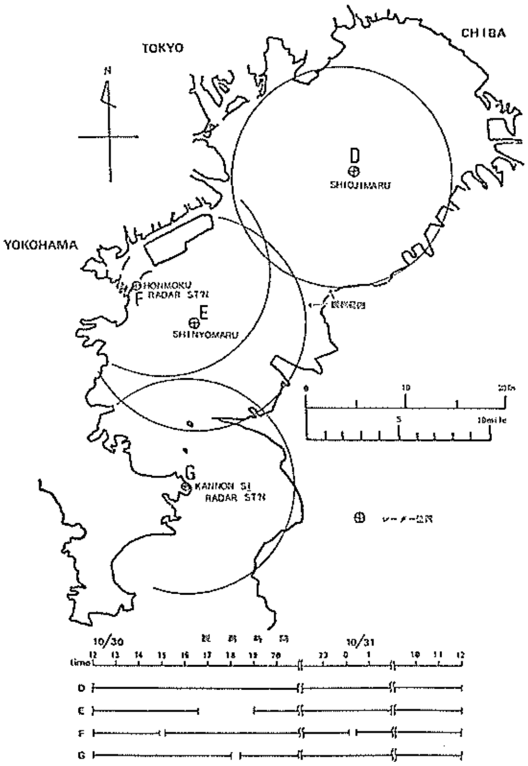

図-2.1.1 レーダーの設置場所

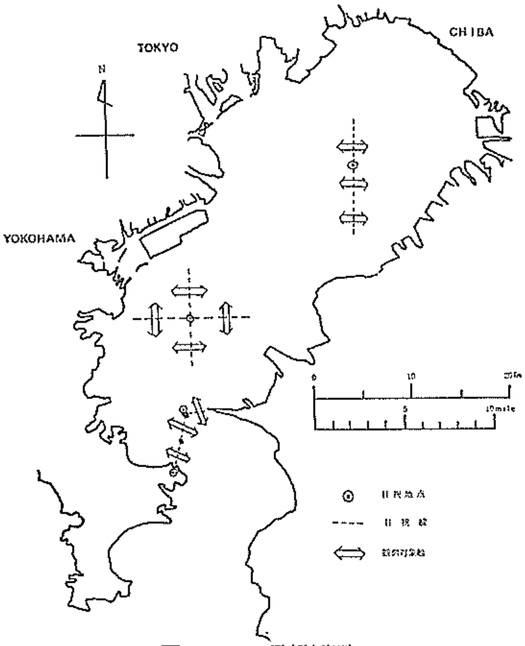

図-2.1.2 目視観測

置し，目視対象海域を図2.1.2として，昭和50年10月30日正午から10月31日正午までの24時間観測を行ったもので運輸省第二港湾建設局が実施しシステム研究室も一部観測を担当した。

これら，4台のレーダーによる観測と目視観測に関しては，従来の1台のレーダーによる観測と目視観測とまったく同様であるが，それを4か所で同時に行ったという大規模化がなされている。

2.2　観測データの処理

おのおののレーダーによる観測結果およびそのレーダー画面内地域を対象とする目視観測結果の整理は，第1報で述べたとおりで，すでに確立された解析システムによって，1本の磁気テープ内に，

(K(I), I=1, 10), (X(I), Y(I), I=1, K(10))

の形でおのおのの船のコードと船位が格納される。これらの具体的内容は，以下に示すとおりである。

K(1) ……航跡プロット図の頁
K(2) ……この船のプロット開始日
K(3) ……この船のプロット開始時
K(4) ……この船のプロット開始分
K(5) ……船種（観測毎にコードが異る場合あり）
K(6) ……船型（観測毎にコードが異る場合あり）
K(7) ……プロット時間隔
K(8) ……航跡プロット図の同一頁の船番号
K(9) ……ダミー（観測に応じて必要な情報に利用）
K(10)……航跡プロットの点の数
X(1), Y(1)……プロット1の船位
X(2), Y(2)……プロット2の船位
⋮
X(K(10)), Y(K(10))……最後のプロットの船位

このオリジナルデータは観測における交通状況をすべて情報として有しており，これをもとにして種々の解析がなされるわけであるが，プログラムを作成することによりすでに用意されている解析以外の任意の解析も可能である。

オリジナルデータの格納された磁気テープの利用については第1報，第2報で触れていなかったので，また，目的別の解析を行うという利用の要望が多いことから，ここで若干の説明を行うこととする。

磁気テープは9トラックで，TOSBAC 5600のフォートラン言語で書かれており，モードはバイナリーモードでBCDモードではないので，ノーフォーマットで格納される。従って利用する場合は

```
      REWIND u
  n1  READ (u, END=n2) (K(I), I=1, 10)
      M=K(10)
      IF (M.EQ.0) GŌ TŌ n1
      READ (u) (X(I), Y(I), I=1, M)
      ..................} (この船舶の処理を行う)
      ..................}
      GŌ TŌ n1
  n2  ..................} 各船の処理が終ってから処理する
      ..................} 部分
```

の形にフォートランプログラムを書けばよい。K, X, Yは添字付き変数であるから，プログラムの冒頭に

DIMENSIŌN K(10), X(500), Y(500)

を宣言しておけばよい。

東京湾の観測の場合は，4台ともプロット時間隔を2分として撮影し，船位座標X(I), Y(I)の座標軸は，北緯35°00′，東経139°30′に原点を設定し，東の方向にx軸を，北の方向にy軸を正方向にとっている。この場合，地球が球であることから座標軸の補正を本来なら必要とするが，補正値は観測に利用しているレーダーの性能の誤差よりも小さいことから球面補正はしていない。

以上の操作は一地点からの観測と全く同一であるが，複数レーダーの場合には，レーダー間をまたがって航行する船舶を同定する（識別と区別することばで同一と定めるの意）という航跡のつなぎあわせ作業が必要となる。

航跡のつなぎあわせは，図-2.2のように，甲，乙両レーダー画面に重なる領域上に，多くの航跡と可能な限り直角に近い角度で変わる基線VWを適当に定め，甲レーダー画面上で，その基線を横切る船舶の位置（基線上の一次元の値とした），その瞬間の時刻，基線を横切る前後各2プロットの時刻と船位，船の情報を保存しておき，乙レーダーでも同一の手順を行って，同一時刻に一定距離内にある船舶を他レーダーによる航跡の中から選び出し，選び出された船舶が一船の場合にはその船を同一船と見なす。同一船の対象となる船舶が2船以上ある場合は，それぞれについて，基線VWを通過する時間差距離差のベクトル長さの小さい方を同一船とする。

さらに基線を通過しない船で，甲，乙両レーダーにまたがる船舶もあることから，基線VWを別の場所に設定して上述した手順をくり返す。

実際には，同一船と見なすのが非常に難しいケースが生ずることがあるが，そのような場合には，基線近辺の

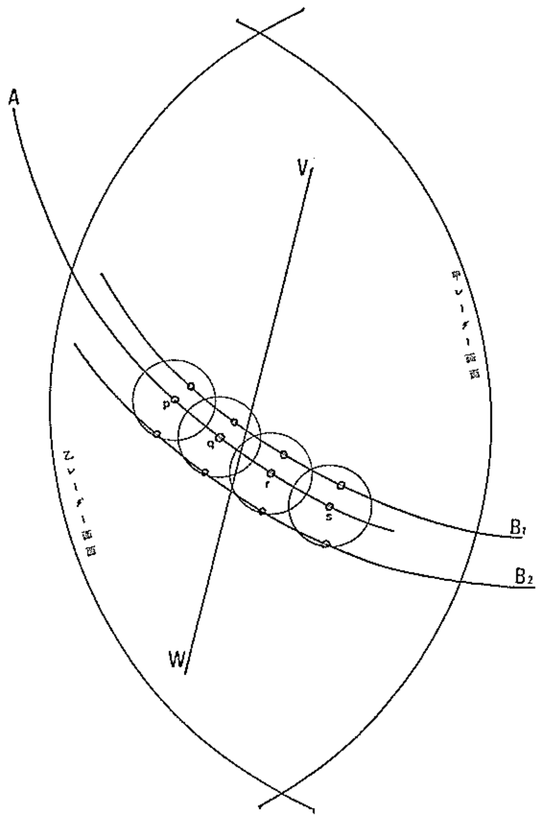

図-2.2　航跡のつなぎあわせ

両レーダーの航跡やそれらを加工した情報を印字して，人の判断によって同定する作業をも行った。機械的に同定したものについても，最終的に人手によるチェックを行っている。

この様にして，次々にレーダー航跡を同定して，一本の磁気テープに統合した。

2.3　動的な航行実態の表示

2.2 で一本にまとめられた磁気テープは，第1報，第2報で開発してきた各種の図面や表の作成プログラムで直ちに使用できること，およびこのオリジナルデータを各自が利用できることは既に述べてきたとおりであるが，それらで出力された結果は，まとめられると静的なものであり，原データの有するダイナミックな情報は非常に薄められてしまう。

文献に，この観測の結果を表わす多数の図表が作成されているが，それをみても観測データのもつ動的な情報量は失われている。それらを可能な限り生かす試みとして，東京湾を縦・横・斜めの500mごとのメッシュで切り，それを通過した船舶の速力とその標準偏差を記したのが，図-**2.3.1**～図-**2.3.3** である。さらに航跡を30分ごとに区切って図表示したものが図-**2.3.4** ～ 図-**2.3.10** であるが，これによって時間的経過がある程度とらえられている。

ここで，30 分ごとの航跡を，さらに短い時間にするとよりダイナミックな情報が得られるが図面枚数が莫大になることから，観測実態そのものの映画化を試みた。ダイナミックな動きを見るには，レーダー画像そのものをコマおとしで映写する方法もすでに行われているが，レーダー映像は非常に見づらいこと，およびこの場合の様に複数台のレーダーによる観測では別々に映写しなければならなくなることを考えると複数台のレーダーによる観測結果をそのまま映画によることは，相互間の関係が同時に見られるので非常に意義深いといえよう。

具体的な手法は，第2報で述べている解析結果の一例である「船の流れ」図面を作成するプログラムを利用する。

これは，指定された時刻に観測対象海域に存在する全船舶を，その時刻に存在する位置に，進行方向が船首方向で船の大きさを考慮した船の形に描き，さらに，速力と進行方向を示すベクトルが船首から突き出し，地形等その他の必要情報までをも描くプログラムである。

実際の映画化にあたっては，ベクトルの長さを決める比例定数を0とすることにより船首から突き出している速度ベクトルを消し，時刻指定を次々に連続的に変化させて，映画の原画を次々に得る。

映画化にとってさらに都合のよいことは，解析システムにおける一連の図化作業は，港湾技研資料 No. 259 の「簡易図化プログラミング」によってなされているので，同資料にもあるように，COM (Computer Output Microfilming) を利用して，16 mm 映画が計算機から直接に何らの図面も介在されずに作成されるのである。

このフィルムに，前後のタイトルを付加すると，映画として完成するが，それらも簡易図化プログラミングを利用すれば，すべての映画化作業が電子計算機で行われる。

図-**2.3.11** から図-**2.3.18** が前のタイトルであり，図-**2.3.19** から図-**2.3.21** は実態調査の映画化の部分であり，図-**2.4.22** には後のタイトルである。

このうち，図-**2.3.15** のレーダーの PPI 画像のみは，簡易図化プログラミングでなく別に焼付けを行ってい

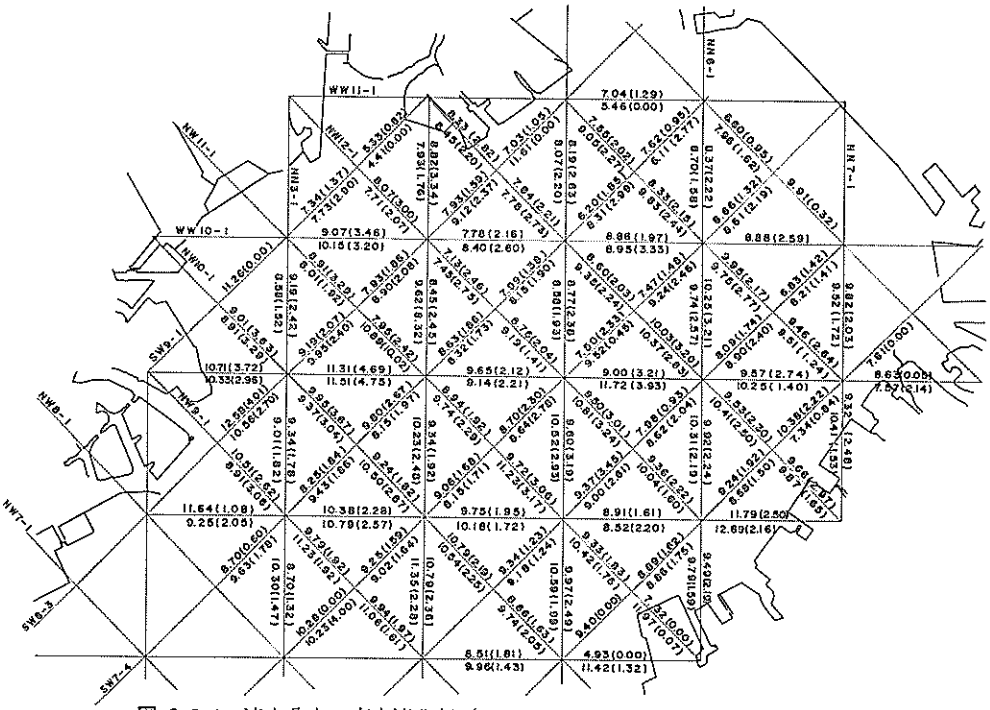

図-2.3.1　速力分布，東京湾北部（10 月 30 日 12:00～10 月 31 日 12:00）

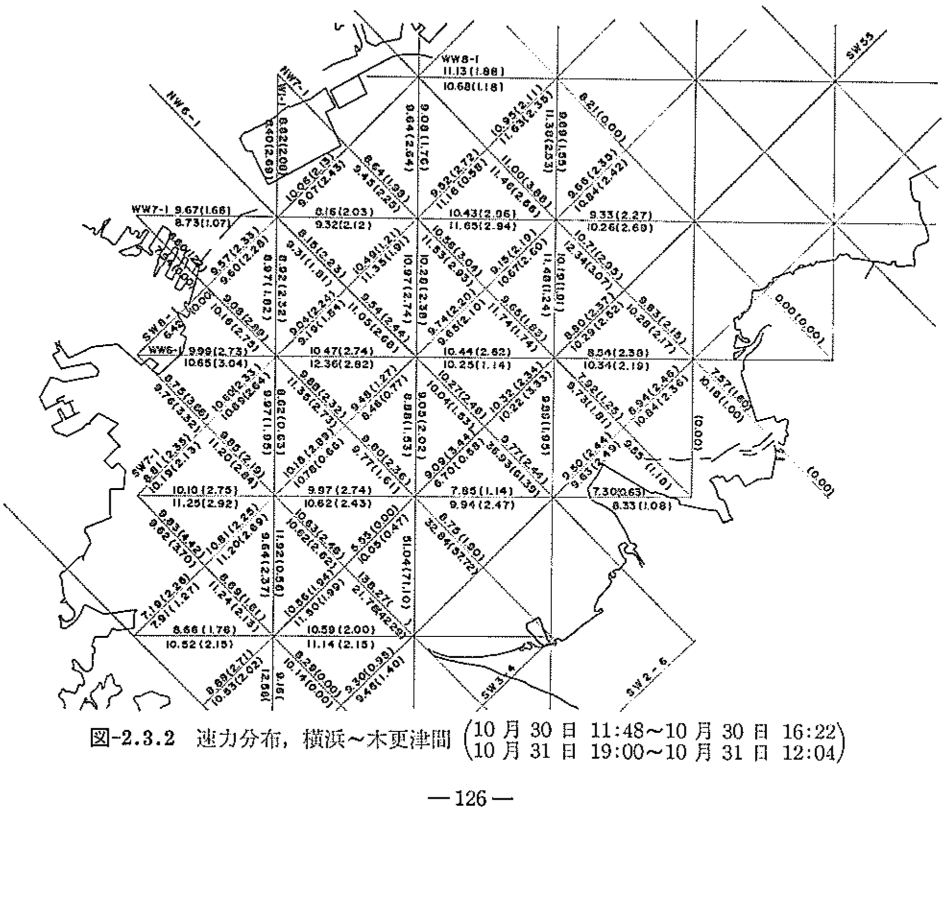

図-2.3.2　速力分布，横浜～木更津間（10 月 30 日 11:48～10 月 30 日 16:22 / 10 月 31 日 19:00～10 月 31 日 12:04）

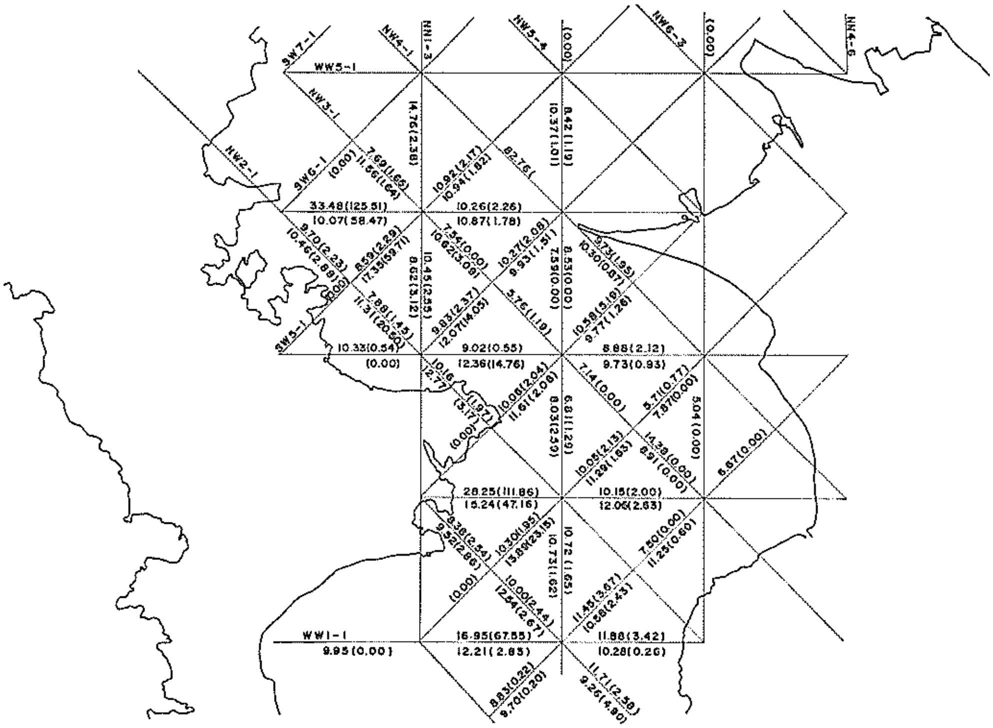

図-2.3.3 速力分布，浦賀水道 (10 月 30 日 12:00～10 月 30 日 18:00 / 10 月 31 日 13:20～10 月 31 日 12:00)

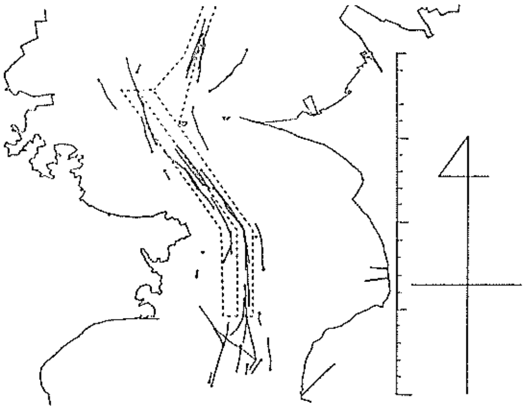

図 2.3.4 航跡図，観音崎 (10 月 30 日 12:00～12:30)

図 2.3.5 航跡図，観音崎 (10 月 30 日 12:30～13:00)

る。また，後のタイトルの図-2.3.22 は END の字にズームの手法をとり入れて，一点から徐々に拡大していくような工夫がなされている。

観測の映画化の部分はここでは 30 日 17 時 41 分（図-2.3.19），31 日 6 時 29 分（図-2.3.20），31 日 11 時 17 分（図-2.3.21）の 3 コマの紹介に留めるが，昼は港内流動船が，夕方は出港船が，朝方は入港船が多くなることが，映画を見れば直ちにわかるが，この 3 コマの図面

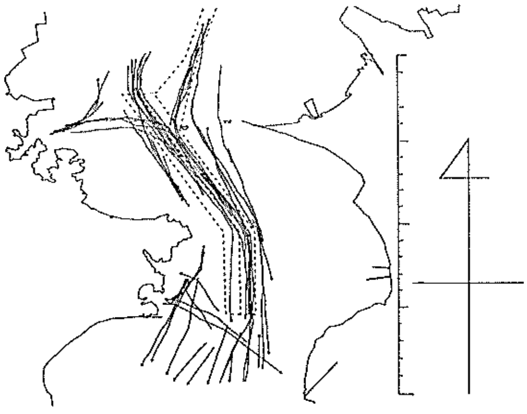

図-2.3.6　航跡図，観音崎
(10月30日 13:00～13:30)

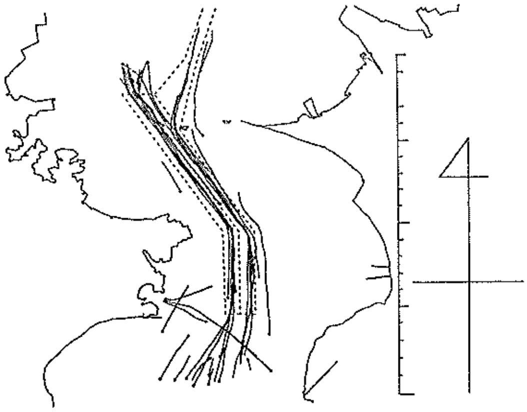

図-2.3.9　航跡図，観音崎
(10月30日 14:30～15:00)

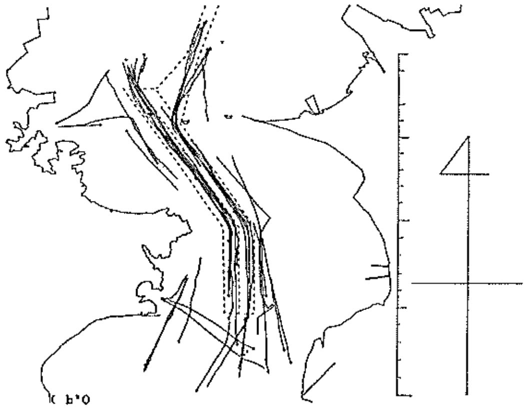

図-2.3.7　航跡図，観音崎
(10月30日 13:30～14:00)

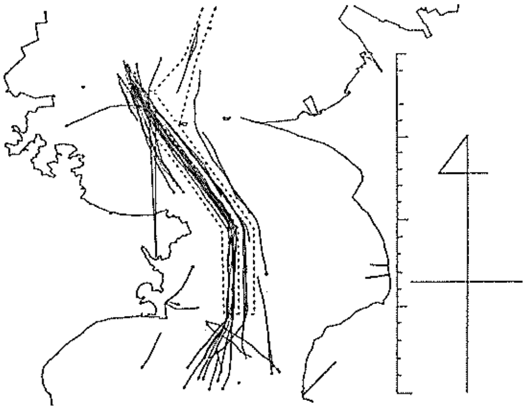

図-2.3.10　航跡図，観音崎
(10月30日 15:00～15:30)

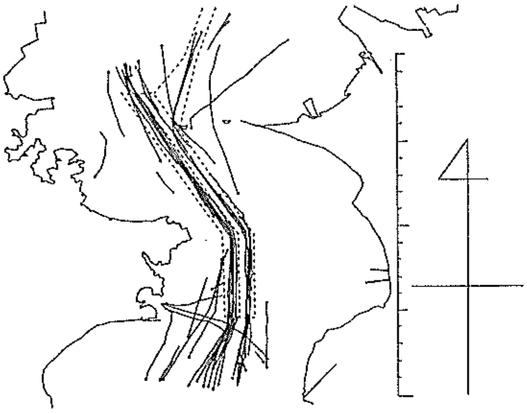

図-2.3.8　航跡図，観音崎
(10月30日 14:00～14:30)

からも推察されよう。

この映画は，在来の解析システムによって純化された海上交通の特性を補完するものとして，海上交通の計画に利用されることが期待される。

なお，映画作成にあたっては，オリジナルデータの2分間隔では画面の動きが粗くなることから，より滑らかにするために，1分間隔の位置を直線補間より求めて，同一画面を12コマずつ焼きつけた。1分以下も補間してより滑らかな動きにすることも可能であるが，計算時間の増大とCOMの画像フィルム製作費の増大を招くことから今回は1分までに留めた。

上映時間は，24時間分すなわち1440分×12コマを1秒24コマ送りで映写するとして，前後のタイトルの映写時間を含めて，12分強である。

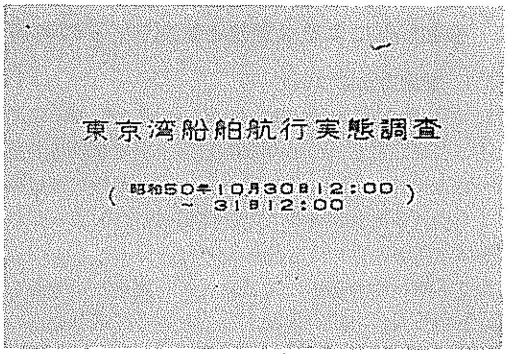

図-2.3.11　16 mm 映画のタイトル

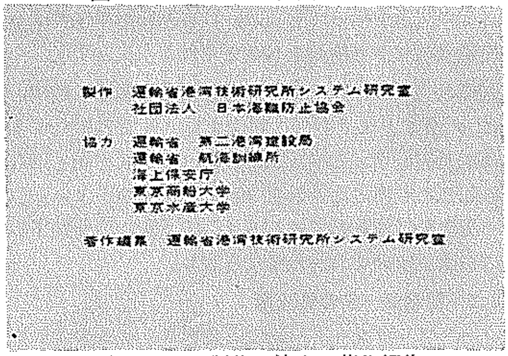

図-2.3.12　製作・協力・著作編集

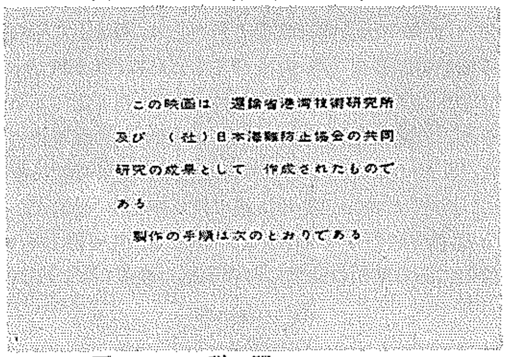

図-2.3.13　説　明

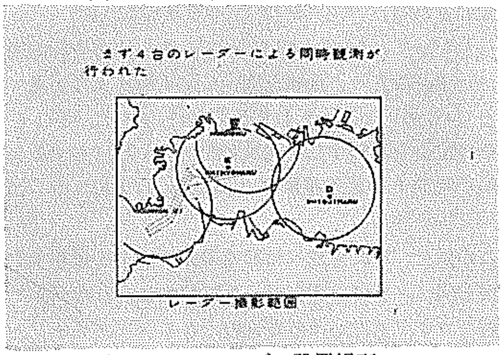

図-2.3.14　レーダー設置場所

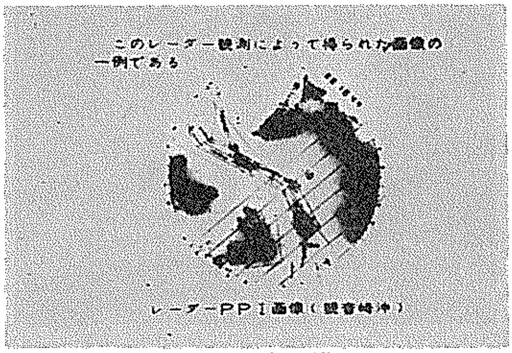

図-2.3.15　レーダー画像

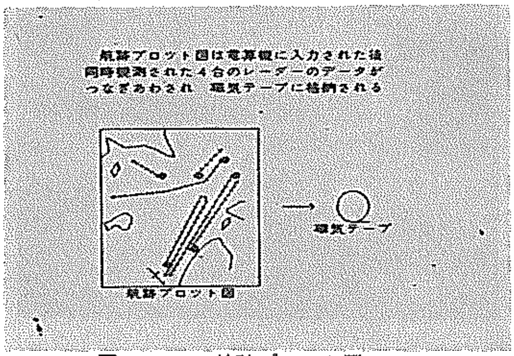

図-2.3.16　航跡プロット図

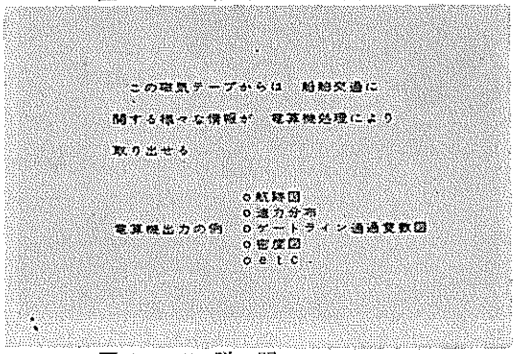

図-2.3.17　説　明

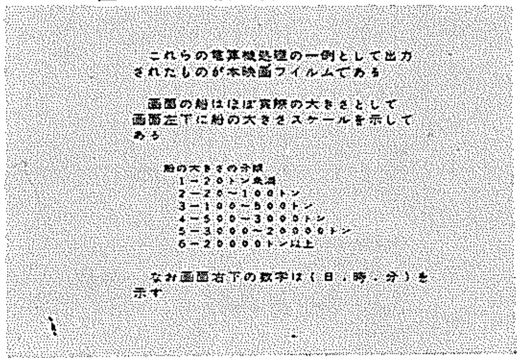

図-2.3.18　説　明

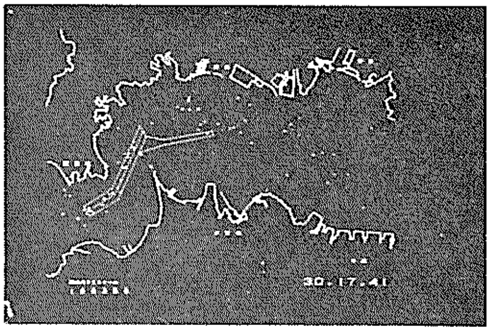

図-2.3.19　映画の1コマ（10月30日17時41分）

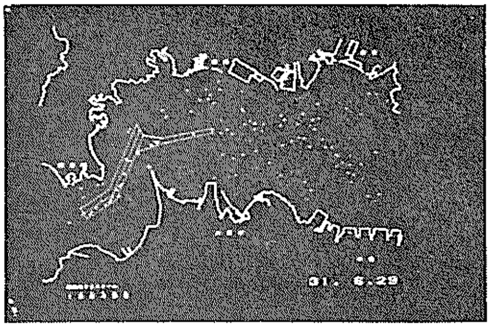

図-2.3.20　映画の1コマ（10月31日6時29分）

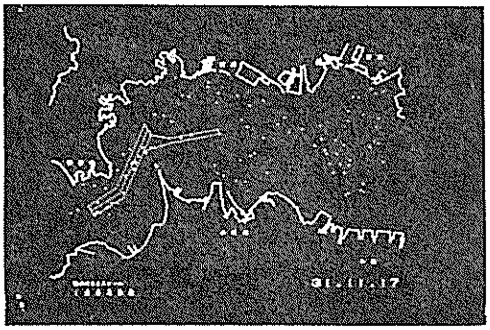

図-2.3.21　映画の1コマ（10月31日11時17分）

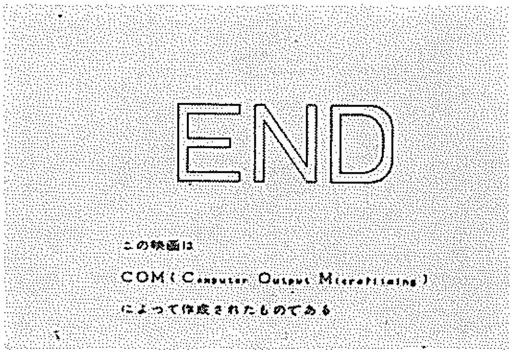

図-2.3.22　終りのタイトル

3.　移動船舶による観測法と観測データの処理法

3.1　観測方法について

2．で広域な東京湾を複数のレーダーで観測する手法を述べたが，さらに広域な日本沿岸全域における海上交通実態を把握する際には，陸上レーダーからでは対象海域が遠過ぎる場合があること，停泊船のレーダーからでは海の水深が大きいこと投錨不可能となること等の理由により，航行中の船舶によるレーダー観測法が考えられる。もちろん，本船が移動することから固定点からの観測と異り，同航船の航跡は長く反航船の航跡は短くなるが，その欠点を補ってもなお，日本列島沿岸における船舶交通量のマクロ情報を与えてくれよう。

観測の方法は，陸上あるいは停泊船における観測と同様に a 分ごとに b 秒間の露光をし c 枚重ね撮りする自動撮影装置を用いるが，船の移動は常に同方向と限らず振れることもあることから $c=1$ とするのがよい。

一方自船は移動しているので，時々刻々と移動する自船の位置を求めておかねばならない。

3.2　観測データの処理法

ノースアップレーダーによる撮影フィルムの時刻 t の画像上で，自船の位置を原点にとり，x 軸の正方向を東の方角へ，y 軸の正方向を北の方角へとり，画像上に写っている他船の座標を (x_t, y_t)とする。これは，第2報で示したフィルムアナライザーで容易に読みとり可能である。

また，自船の航行水域上でも x 軸の正方向を東の方角に，y 軸の正方向を北の方角にとった絶対座標系を設けて，時刻 t での自船の位置の絶対座標を (X_t, Y_t) とすると，時刻 t のレーダーフィルム上で相対座標 (x_t, y_t) の位置にある他船の時刻における絶対座標 (X_t', Y_t') は，

$$X_t' = X_t + x_t$$
$$Y_t' = Y_t + y_t$$

で表わされる。

したがって，時刻 t のフィルムから他船の相対座標 x_t, y_t を読みとり，他船を固定して t を次々にかえていくと $\{x_t, y_t\}$ の二次元数列が得られ，一方，時刻 t の自船の位置を表わす二次元数列を $\{X_t, Y_t\}$ とすると，他船の時刻 t の絶対座標は $\{X_t+x_t, Y_t+y_t\}$ の二次元数列で得られる。

この値を，2.2 で述べた形で磁気テープに保存すると在来と同一タイプの磁気テープが得られ，したがって，解析プログラムにかけることのできるデータテープとなる。

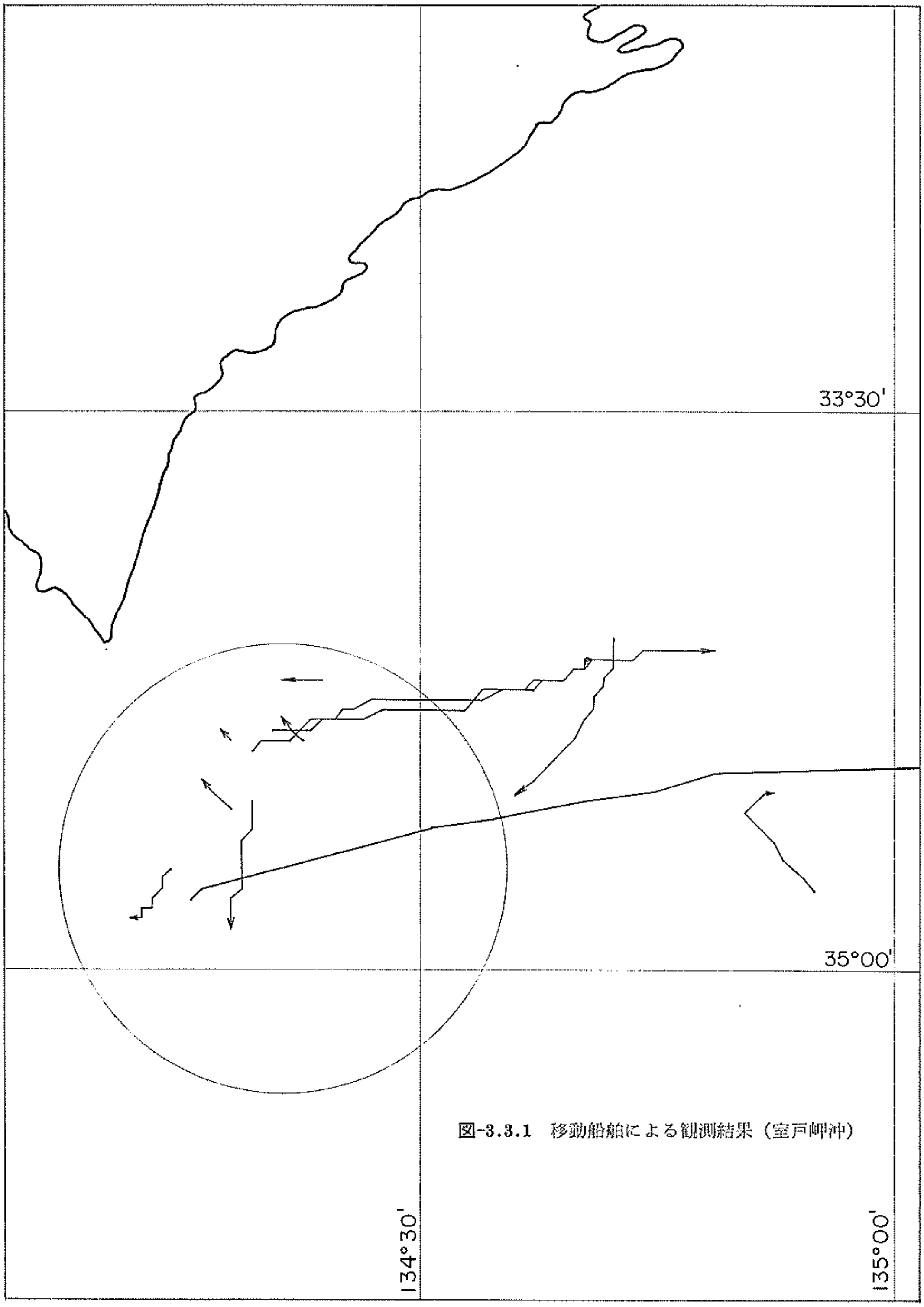

図-3.3.1 移動船舶による観測結果（室戸岬沖）

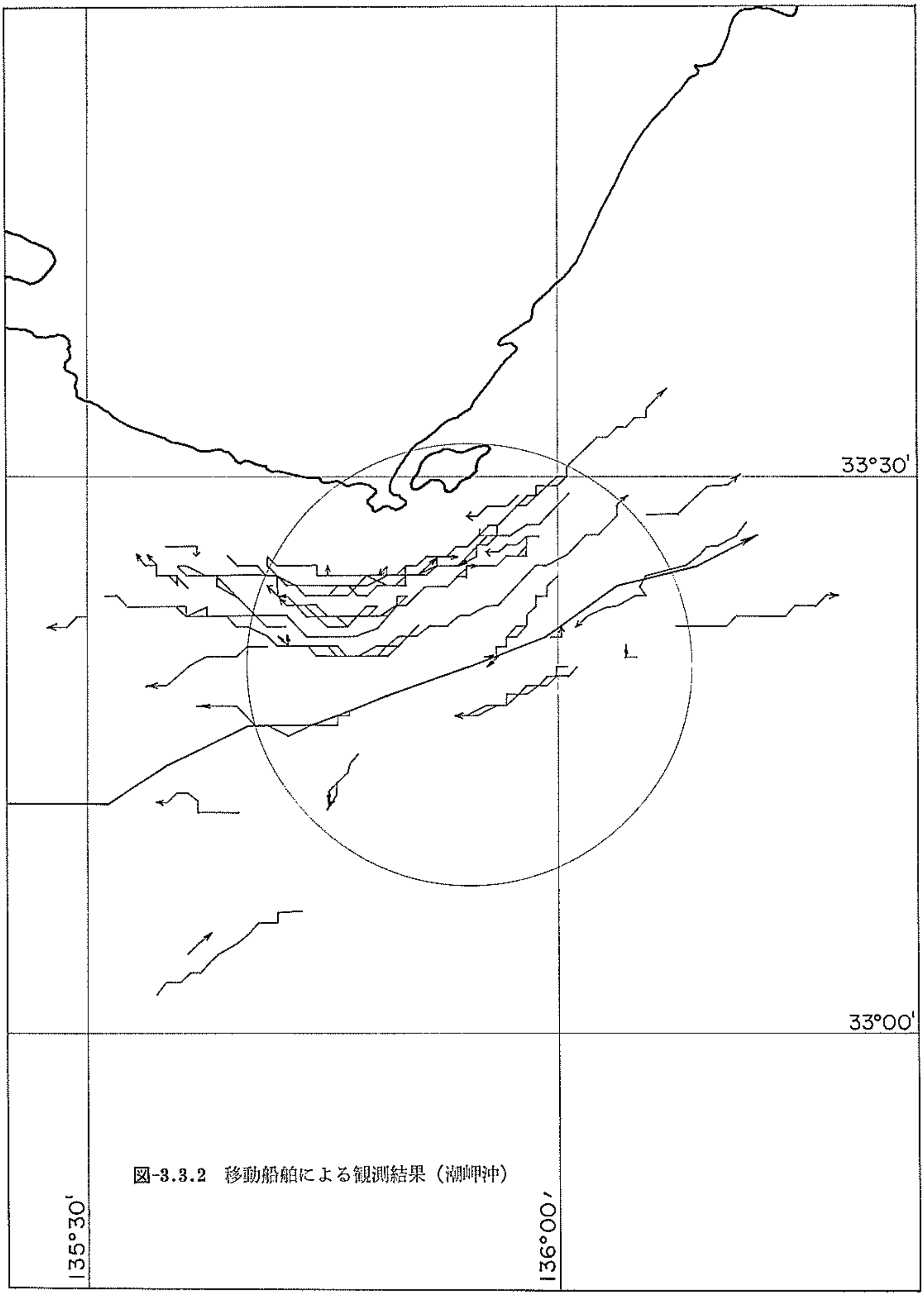

図-3.3.2　移動船舶による観測結果（潮岬沖）

3.3 適用例

以上述べてきた航行中の船舶による船舶航行実態観測の例として，運輸省航海訓練所の練習船銀河丸が室戸岬沖から潮岬沖を航行した際に観測したレーダーフィルムをもとにして絶対航跡を求めると図-3.3.1，図-3.3.2となる。ここで，円はレーダーのレインジを図示したもので，やや太くて長い航跡が銀河丸の航跡である。また航路の平滑化は行っておらず，上で計算した（Y_i', Y_i'）を次々に結んだだけである。

この場合の撮影およびレーダーセットの条件は，

レーダーレインジ 12 海里

3 分間に 1 回露出，1 枚撮り，連続撮影

船首輝線セット（ノースアップレーダーであるので船首方向がわかるように船首方向に輝線をセット）

である。

これらの図によってわかる様に，この程度の精度でも海上交通量のマクロ予測は可能となり，種々の海上交通計画に有益であることが予想され（避難港計画における潜在収容避難船隻数の予測等），日本列島沿岸におけるこの種の統一的な観測が待たれる。この図によると 12 海里レインジのレーダーで観測船2船を併航させることにより沿岸の海上交通量がほとんど得られよう。

航跡の平滑化については，図が3分ごとの船位を結んでいることからジグザグとなっているが，撮影時間隔の短縮，船位測定の向上化，船首輝線の利用，船舶航跡そのものの平滑化等の導入によって，よりスムーズな航跡が得られることが予想される。

4. あとがき

陸上交通工学と比較すると，著しく立ち遅れている海上交通の分野にアプローチするにあたり，まず理論よりも実態の把握に重点を置いて，「海上交通船舶挙動に関する研究」という統一テーマの下で，もっぱら，海上交通の観測法と観測データの処理法，解析結果の表示を扱ってきた。この3報では，広大な水域における船舶交通の実態観測として，複数レーダーによる同時観測と移動船舶による観測を紹介し，さらに在来の解析結果の表示は交通特性を純化してわかりやすく整理してはいるものの，動的な情報がほとんど消失してしまうことから，それらを損わないように実態観測結果の 16 mm 映画化を試み，動的情報をそのまま再現することに成功した。

これら一連の作業によって，マクロ的な交通流の観測手法と観測されたデータの処理に関しては，陸上交通にほぼ匹敵するに至ったあるいは越えたといえる段階になったのではないかと思われる。

第2報を報告してからの9か月間にも，伊勢湾における航路体系調査の一環としての航行実態調査，関西空港建設予定海域における航行実態調査，東京空港拡張のための前面水域における航行実態調査，本四架橋の橋脚の航行船舶への影響を予測するための航行実態調査，佐渡ケ島両津港における避難船の実態調査，洲崎沖の航行実態調査，紀伊日ノ御崎沖の航行実態調査がこのシステムを利用して実施されており，本観測手法は海上交通のマクロ観測手法として，定着してきたといえよう。

海上交通工学の理論については，未だ陸上交通工学に遠く及ばないが，この様な形で集積されたデータは海上交通工学の理論の樹立および検証に必要欠くべからざるものとなろう。

この第3報においても前 1，2 報と同様に，港湾局，第二港湾建設局，海上保安庁，航海訓練所，日本海難防止協会，東京商船大学，東京水産大学の関係者の方々に厚く謝意を表する次第である。

参考文献

1) 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
2) 奥山，早藤，中辻，佐々木，吉田；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——，港研報告，第16巻 第1号，1977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) 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
5) 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
6) 奥山，早藤，吉田；簡易図化プログラミングシステムの開発，港研資料 No. 259，1977 年3月