海上交通調査におけるレーダ利用方法の改善について

佐藤 尚登*・田中 稔**・原 潔***

The Improvement of Marine Traffic Survey Using Radar and The Way of Its Analysis

Naoto SATO, Minoru TANAKA and Kiyoshi HARA

Abstract

Authors improved the marine traffic survey system using radar and developed an automatic processing system using ARPA (Automatic Radar Plotting Aids) for analysis of marine traffic. These systems provide a hard copy of an image on a radar PPI on real time at an arbitrary time interval and semi-automatically analyze a marine traffic situation.

The proposed traffic survey system consists of a color radar, a video printer and modulate and demodulate equipments to record raw radar signals into VTR. The automatic processing system consists of a personal computer and ARPA linked with the survey system.

These systems were applied to the marine traffic survey in Akashi channel in order to realize its validity. Then there were much improvement on increasing the accuracy of observed data and significantly reducing working time on the steps of the analysis comparing with the conventional way.

The data in a personal computer linked with ARPA make us easy to analyze the marine traffic from various points of view.

1. 序 論

海上交通を観測する方法としては、レーダによる方法、航空写真を利用する方法、リモートセンシング技術を用いた方法⁽¹⁾などがある。しかしながら、一般的にはレーダ観測と目視観測を併用し、映像を写真に記録する方法により行われている。

この方法では観測から解析作業まで多くの労力と時間を必要とすることから、改善策として、カラーレーダ映像をビデオカメラにより撮影記録する方式と、パーソナルコンピュータを利用した、レーダ画面の画像処理による解析作業の自動化の方法が報告されている⁽²⁾。

本論文では、観測データの精度の向上、解析作業の省力化、迅速化の観点から、観測にカラーレーダを利用する方式に加えて、次の3つの可能な観測・解析システムを開発した。

- (1) レーダ映像を写真やビデオカメラにより撮影記録する方式に換えて、レーダ映像信号を直接VTRに記録する装置を製作し、任意に映像の再生を計る。
- (2) 観測現場でカラーレーダ映像のハードコピーによる画像データを作成し、観測精度の向上とデータ作成の迅速化を計る。
- (3) ARPA (Automatic Radar Plotting Aids) の機能を用い、レーダ観測結果のリアルタイム処理を行い、開発したソフトプログラムにより交通解析を行う。

本システムの実用性についての検証を、明石海峡の海上交通実態調査で行ったので、その結果を報告する。

* 正会員 広島商船高等専門学校 (〒725-02 広島県豊田郡東野町4272-1)

** 正会員 コーデン研究所 (〒146 東京都大田区多摩川2-13-24)

*** 正会員 神戸商船大学 (〒658 神戸市東灘区深江南町5丁目1-1)

2. システムの構成

システムは大別して、海上交通調査を行う際の観測システムと、観測後にレーダ映像を再現して目的に応じた解析ができる解析システムから構成される。

2. 1 観測システム

システムは図1に示すように、次の2系統からなる。レーダ映像を表示するに必要な信号をインタフェースを介して変換し、VTRに記録する系統と、カラーレーダのビデオ信号出力によりハードコピーを任意の時間間隔で行う系統である。

2. 1. 1 レーダ信号の記録

カラーレーダと、レーダ信号をVTRに記録できるように変換するインタフェース、及びVTRから構成される。レーダ映像を記録再生する方式

については、既に報告されているが⁽³⁾⁽⁴⁾、今回の装置は、レーダの船首方位信号、ジャイロ及びログ信号も記録することができ、映像の再生にあたってはレーダやARPAの持つ各種指示方式を任意に選択が可能なものとしている。本方式では図2に示すように、VTRのそれぞれのチャンネルにレーダからのトリガー・方位・ジャイロ、そしてログ信号など、多くの信号を記録することになるが、VTRはチャンネル数が限られている。従って、図3に示すように周波数の高いトリガーとビデオ信号は変換して重畳し、VTRのビデオ信号入力チャンネルへ、周波数の低い方位とアンテナ回転角度信号、ジャイロとログ信号はそれぞれ変換して2つの音声チャンネルへ入力している。このようにレーダ映像を撮影する方式に換え、レーダからの信号そのものをVTRに記録することによって、観測後にレーダ映像の再現ができる構成としている。

2. 1. 2 レーダ映像のハードコピー

ここではカラーレーダ映像の表示方式が、ラスタースキャン方式であるものを使用している。この指示方式を利用してレーダの画面をビデオプリンタ（SEIKO. VP-95）によりハードコピーする系統である。プリントの起動は外部クロックからの入力信号によって任意の時間間隔で行う。ビデオプリンタへはカラーレーダからのクロック信号を入力し、水平及び上下方向に4倍まで拡大してプリントすることができるようになっている。ここでは画面サイズ（216×300mm）、記録面積最大（1024×1368ドット）、また記録速度は17秒／画面である。

2. 2 解析システム

図4に示すように、解析システムは観測の後、記録したレーダの各信号をカラーレーダに入力して解析する系

図1 観測システム

図2 レーダ信号記録再生装置の構成

図3 インタフェースのブロック・ダイアグラム (レーダ信号記録用)

統と、ARPAの指示機に入力して解析する系統の2系統から構成されている。これによって、カラーレーダ及びARPAの持つ機能を利用して交通解析を行うことができる。

図4 解析システム

2. 2. 1 レーダ映像の再現

この系統は既述した観測の際の、レーダ信号の記録系統の逆の方向で構成されている。すなわち、VTRに記録されたビデオ・オーディオ信号をインタフェースを介して分離変換して、図5のようにレーダ指示機の各部へ送り映像を再現している。従って、レーダの表示範囲を任意に選択できることや、カラーレーダの持つトラッキング機能を利用した航跡のプロットが可能である。また、画面のハードコピーも任意の時間間隔で可能で、目的に応じたレーダ映像からの解析ができる構成となっている。

図5 インタフェースのブロック・ダイアグラム (レーダ信号再生用)

2. 2. 2 ARPA機能を利用した交通解析システム

観測中VTRに記録したレーダ信号をインタフェースを介して分離変換し、ARPA指示機へ送り、レーダ映像をARPAに再現することで、ARPAの機能により物標を捕捉し追尾して、距離・方位・速力・針路のデータを求めることができる。さらに、これらのデータはRS-232Cインタフェースを介して、パーソナルコンピュータへ一定時間毎に転送する。このデータにより別に開発したプログラムによって、調査目的に応じたデータのファイル作成や、必要な交通解析ができるシステムとなっている。

3. 本システムの適用例

3. 1 明石海峡における交通実態調査

明石海峡では、架橋建設計画に伴い、架橋予定海域付近に4ヶ所の作業区域が設けられ、また一時期この区域内に作業台船が設置された。そこで、昭和61年11月30日から同年12月3日まで本システムの有効性を検証するために、カラーレーダを用いた通常の観測方法と並行して、本システムを用いた観測を行った。観測所は舞子側で海面上約42mの所に設置した。

3. 2 観測結果への適用

3. 2. 1 レーダ画面のハードコピーと画像データの利用方法

図6は、カラーレーダのトラッキング機能を用いて、30秒間の航跡をプロットさせた映像をハードコピーした一例である。

カラーレーダでは、ビデオ信号は4レベルの信号に分割され、物標はレベルの強弱によって赤・緑・黄に表示されるが、ビデオプリンタでは白黒2値の表示である。そこで、インタフェースではカラーレーダの赤・緑・黄の物標信号のORをとり、ビデオプリンタへの出力ビデオ信号としている。ビデオプリンタでは、物標は全て黒色としてハードコピーされる。既述したように、画面の大きさは216mm×300mmまで拡大してプリントすることも可能である。従来このような画像のプリントは観測が終了してから作成され、さらには、目視観測記録との照合による船舶の同定作業を、観測終了後に行っていた。この作業は労力と時間がかかるもので、また、プリント画像の航跡が目視観測記録のどの船舶に該当するか照合判別が難しく、同定が困難となる場合も少なくなかった。しかしながら、本観測システムでは観測現場で画像データを作成することができるので、画像上で船種・大きさの同定が素早くできることから、観測データの信頼性を高め、さらに解析作業を短縮することができた。また、写真撮影に際して、海面反射を抑制して判読のしやすい映像として撮る場合は、レーダの受信感度を下げることで、反射強度が弱い小型船や漁船等は映っていないことが少なくない。さらに、複雑な航跡をとる場合には観測終了後の同定は困難であった。しかしながら、本観測システムでは、写真撮影によらず観測中に現場で画像データが得られることから、小型船や漁船及び複雑な航跡の解析が容易となった。この画像データを利用して迅速に航跡を求めることができる。

3. 2. 2 再生レーダ映像の利用方法

写真やビデオカメラによるレーダ画像の記録を再生する場合には、当然のことながら撮影の際の表示範囲に限られる。しかしながら、記録したレーダ信号によって、指示機上に映像を任意のレンジを選択して再現することができるので、異常な航跡を拡大表示して解析することや、その原因の究明に利用することができる。

3. 2. 3 ARPAの機能を利用したリアルタイム解析

ARPAにおける物標の検出できる数や捕捉できる数は一定の制約がある。明石海峡は多数の船舶が輻輳する海域であり、さらに、今回の調査では作業区域を示す大型のブイや作業台船が設置された。このようなことから、ARPAの物標検出数や捕捉数が多いことが望まれることになり、今回使用したARPA（光電制作所製NAV CAS-C）は物標検出数が512、捕捉数が50（手動捕捉20）である。また、捕捉範囲を観測場所から半径2.5海里

図6 レーダ画面のハードコピー例（30秒間の航跡図）

表1 ARPAによる物標のデータの出力例

Date : 10/02/87

Time : 12:57

Target Data

No.	Distance (nm)	Bearing (deg)	Speed (kt)	Course (deg)
9	2.10	40.9	14.2	226.9
17	1.45	34.3	13.5	225.2
49	1.49	52.0	9.9	54.3
50	0.50	349.8		

とした。これは多数の船舶が輻輳していることや、ARPAの物標検出範囲を限定することによって、航行船舶の捕捉を容易にするためである。

(1) 対象船舶の距離・方位・速力・針路とデータファイルの作成

図4に示す解析システムにおいて、ARPAでは物標を捕捉し追尾して、物標データの距離・方位・速力・針路などを求める。これらのデータをパーソナルコンピュータへ転送する時間は、今回一分間隔とした。転送データの一部を表1に示す。この他、CPAやTCPA等も求めることができるが、今回の交通解析には使用していない。

図7 1分毎サンプリングの船位による密度分布

パーソナルコンピュータでは、このデータによりディスクにシーケンシャルファイルを作成している。同時にCRTに物標の位置を表示する。図7は、ある時刻におけるデータをCRTに密度分布図として示したものを、ハードコピーしたものである。

図7に示されるように、一分間毎の各物標について、時刻、観測点からの方位・距離、速力、針路の5つの要素が、ARPAを利用することによってリアルタイムに得られることになる。このことは、従来プリントされたレーダ映像の画像データから、デジタイザ等を使用して任意の時間間隔で船位を求め、データファイルを作成していた方法に比べ、迅速に情報が得られることになる。

しかしながら、ARPAで物標の船種の区別や大きさなどを自動的に求めることはできない。従って、これら船種の同定を、次の方法によって行うことにした。ここでは、ARPAからパーソナルコンピュータのRS-232Cポートへデータの入力があった場合、割り込み処理によって、上記のデータファイルの作成とCRTへの位置表示を行っている。この転送データの中で、同定を行うのは、目視観測記録の作成基準とした見通し線上を通過する物標を対称とした。同定作業はデータの割り込みによって中断するが、この時間は数秒にも満たない極めて短い時間であり、他の大部分の時間は同定に費やすことができる。ただし、見通し線上を多数の船舶が通過する時、同定を次々と行わねばならず、この場合には、時間的に不足することが起こる。この点については、さ

らに工夫改善が必要となる。また、ARPAでの物標の乗り移りがあげられるが、ここではパーソナルコンピュータのソフトプログラムで追尾する方法で、乗り移りと再捕捉を識別するようにしている。

図8 航跡図の例

(2) 航跡図の作成

上述のデータファイルにより、船舶の航跡図を作成した例を図8に示す。○印が一分毎の船位である。これらの点を結ぶにあたっては、3次のスプライン関数により曲線を発生させ、滑らかにした線で結び航跡としている。このように、ファイルとして作成されたデータから、これまでの解析方法と同様に航跡図を作成することができる。

(3) 作成したファイルのデータによる解析例

解析システムでは、ソフトプログラムの開発によって多様な交通解析が比較的簡単に行うことができる。例として、図8の海峡を横断して明石港に向かう北航船上で、他船がどのように観測されるかを、レーダの表示方式の違いを例にとり解析した。図9は北航する船舶のレーダを真方位指示方式とした場合に、航跡を交差して東航する他船の相対航跡を示している。中心の*印が北航する船舶である。次に、図10には相対方位指示方式の場合に、図9の中のA船が北航船の船首からみて、どのように移動したかを示している。図9では他船との避航の状態が余り明らかでない。一方図10からは、北航する船舶と交差して東航する船舶が、互いに接近した状態で変針し、避航して航行していることがよくわかる。このように、航行船舶を任意に抽出し、例えば、視点をかえた多様な解析がソフトプログラムの開発によって可能となる。

4. 結 論

本システムを明石海峡での交通実態調査へ適用し、実用性を検証した結果、従来の方式に比べ、次の点で有効

図9 解析例1 (北航船から見た真方位表示による他船の動き)

図10 解析例2 (北航船から見た相対表示による他船Aの動き)

法に比べて格段に改善することが出来た。しかしながら、今後ARPAの機能に依存する部分の改善や船種・船型の同定方法の自動化など、工夫すべき点が残されている。

終わりに、明石海峡における交通実態調査は、本州四国連絡橋公団及び神戸海難防止研究会で行われたものであり、研究の場を提供して頂いた両団体、及び同調査途上で有益な御議論を頂いた神戸商船大学井上欣三助教授、大島商船高専辻啓介助教授、富山商船高専河合雅司助教授にお礼申し上げます。またARPAの利用については広島商船高専岩本誠之助教授、ビデオプリンタの利用については精工舎赤塚重規氏にお世話になり、ARPAの原理や運用についてはコーデン研究所の古賀征雄副所長に御教示を頂いた。これらの方々にお礼申し上げます。

参 考 文 献

- (1) 山村三朗：ランドサットTMデータによる船舶の観測，日本航海学会論文集76号，p. 33～40，昭和62年 3 月
- (2) 井上・原・田中：海上交通実態調査法の改善について，日本航海学会論文集第67号，p. 93～99，昭和57年 9 月

であると言える。

(1) 観測現場でレーダ画面の画像データが作成でき、さらに、この画像上で船種や大きさの同定が可能となった。特に、小型船や漁船などの航跡を目視により直接同定できることから、観測の信頼性及び精度を向上させることができた。また、観測終了後レーダ画面のプリントを作成する日数と労力を必要とせず、迅速な解析が可能となった。

(2) レーダ信号を記録・再生ができる本システムは、観測のバックアップとしても有効である。

(3) 写真やビデオカメラによるレーダ映像の記録では、撮影の際の表示範囲やその再生に限られるが、本解析システムでは、レーダやARPAに映像を再現し、任意のレンジを選択したり、交通解析の目的に応じた機能選択が可能である。

(4) ARPA機能を利用することで、リアルタイムに対象船舶の距離・方位・速力・針路を求め、これらのデータをパーソナルコンピュータへ転送することができるので、これを用いて多様で迅速な交通解析が可能となる。

この様に、本システムは観測データの信頼性の向上、観測・解析作業の省力化、迅速化の点で、従来の方

- (3) 映像録画再生装置 J P R—4 A 形, 日本無線技報 No. 4, p. 129~131, 昭和45年
(4) 萩野芳造ほか: 大島大橋に対する偽像の対策, S A N E 78—9, Jun. 1978, p. 23~36

質 疑 応 答

奥山育英(港湾技術研究所): 講演中, 従来の方法よりもという表現が数多くありました。従来のレーダにパソコンを接続させているので, 機能付加のメリットが生ずることはわかりますが, 機能付加以外の点, すなわち, 解析時間や労力等で具体的な比較数値を教えてください。

佐藤尚登: 本観測システムでは, 観測現場でレーダ画面の画像データが任意の時間間隔で自動的に作成でき, また, この画像上で船種や大きさの同定作業ができます。従いまして, レーダ映像を写真に記録する方式で要する観測終了後のフィルムの現像, 拡大焼付の作業と日数, さらに, この写真データを目視観測記録と照合させ, 船舶の同定を行う作業と日数が省かれることになります。

解析システムについては, 従来では航跡データを用いてディジタイザーによる航跡の座標化を行う作業が必要ですが, ここでは, この作業と日数が省かれることになります。具体的な比較の数値ですが, 従来の方式では投入される装置と人数により, 作業日数と労力が変わるので一概にあげられませんが, 筆者らの経験によりますと相当の人数と日数を要します。今回では, これらが省かれることになります。

石村信道(神戸商船大学): 航跡の乗り移り現象を防止するため, 過去の航跡データから将来の航跡を予想されていますが, その方法ですべての乗り移り現象を解決できますか。

佐藤尚登: A R P A では一スキャン毎にデータの更新を行っておりますが, パーソナルコンピュータへのデータ転送は, 今回一分間隔であることから, 対象船舶が短かい時間に変針や変速がなされた場合など, パーソナルコンピュータのソフトプログラムでは識別が困難な場合がでてまいります。

辻 啓介:(大島商船高専): 明石海峡をモデルとしておられますが, 相当数の交通量があり, 船舶が接近して航行すると考えられます。レーダの分解能以下に2隻以上が接近した場合, A R P A の追尾の処理はどうなるのでしょうか。

佐藤尚登: 一般には乗り移りや, 一方の物標のロストが生じます。また, 2物標であることが再び識別された場合には, 危険度の優先順位にもよりますが再捕捉されます。パーソナルコンピュータでは, 今回は一分間隔の連続データと見なせる場合は追尾ができることになります。