船舶のレーダ反射強度の2次元の分布 に関する研究 (その1)

庄 司 和 民*・林 尚 吾*
清 水 紀 雄**・松 野 達 雄**

2-Dimensional Distribution of Radar Echo from Ships

Kazutami SHOJI, Shogo HAYASHI
Toshio SHIMIZU and Tatsuo MATSUNO

Abstract

It was very difficult to measure 2-dimensional radar echo, because it needs so large quantity of high speed memory and a ultra high speed analog to digital converter.

But those devices are materialized today, and now the authors can use a special measuring system for this purpose with the author's original design.

In this paper, the following result and feasibilities are described.

- (1) A detail specification of this measuring system.
- (2) The obtained data from this system with several display methods.
- (3) There is a feasibility to discriminate the aspect angle of the target, furthermore a long transmission pulse has as good a discrimination as a short pulse.
- (4) A proposition with useful display equipment for navigation, fishing and so on.

1. は じ め に

船舶の安全な航海にとって、レーダのはたす役割りは極めて大きく、視界の悪いところでは肉眼にかわって陸岸までの距離や他船その他の海上にある障害物の位置の確認に用いられてきている。しかし、レーダの持つ特性のゆえに、必らずしも適切に物標の位置や形状を表現できてはいない。

船舶にレーダ電波を照射した場合の反射強度の測定に関しては、従来では数少ない方位線上の反射強度を測定し、統計的解析等の研究⁽¹⁾がなされてきた。一部では特殊な目的のもとに遠方にある物標の形状識別⁽²⁾やミリ波の3-D・レーダによる物標の形状識別に関する文献⁽³⁾が報告されている。本稿では、一般の船舶に搭載されている航海用レーダによって得られる反射信号強度の分布を2次元的に計測し、その処理・解析から従来では極めて困難であった相手船の種類やアスペクト・アングル等の識別や判定を試みるものであり、また、衝突防止援助装置(ARPA)の基本的入力情報である相手船の位置情報の適正化に関する信号処理方式を検討するものである。

今回の報告では、新しく合目的々な測定装置を開発したので、その測定システムの構成と船舶からの反射信号を2次元的に測定して得られた結果について、その一部を示し、船舶の安全運航にとって有用な情報が信号処理により抽出できる可能性を示した。これにより今までは点としてしか認識していなかった船舶からの反射信号が

* 正会員：東京商船大学（東京都江東区越中島2-1-6）

* 正会員：日本無線㈱研究所（三鷹市下連雀5-1-1）

詳細な2次元分布と共に、各スイープおよび各スキャン毎の変化が定量的に得られることになり、今後のこの分野における研究に大きく貢献できるものと確信し、まず第1報として報告するものである。

2. 船舶のレーダ反射信号の2次元分布の測定の効果

レーダ反射信号の2次元分布の測定に関しては、林・飯島による橋梁モデルからの反射信号の計測⁽⁴⁾、井上らによるレーダ映像写真からの波の測定⁽⁵⁾や、また松野・清水らによる波浪観測⁽⁶⁾がある。しかし、船舶レーダを使用した船舶からの反射信号について、その特性が測定された報告例としては、庄司ら⁽¹⁾によるものが代表的なものであろう。

船舶に限らず、物標にレーダ電波を照射したとき、その反射信号はレーダ・アンテナ(スキャナ)の指向特性や送信パルス幅等の影響を受けて、映像として表示されるときにはいわゆる方位拡大効果と距離拡大効果(効果と呼ぶよりは現象と表現した方が適切と考えるが)を受けて実際の大きさよりも大きく見える。このような反射信号から物標の形状を一層、識別・推定しやすくするには、信号処理や画像処理を実施することにより可能である。船舶からの反射信号について、本研究と関連する特性を列挙する。

- (1) 物標が近距離にある場合、レーダ映像は著じるしく拡がることもある。
- (2) 物標との相対的な角度によっては、極めて強い反射を示すことがあり、その反射強度も大きく変動する。
- (3) 反射信号は観測のたびに変動している。レーダ映像として見る場合にはその形状も変化して見える。その原因としては船舶の動揺による反射面の角度の変化に伴う反射信号の強度の変化や直接波と海面からの反射波との間での位相干渉によるものと考えられる。
- (4) 反射信号の受信中には、雑音、海面反射波やレーダ干渉の影響があるので、スイープ相関処理やスキャン相関処理などの信号処理が必要となる。
- (5) 測定で得られるデータ数は物標までの距離が遠くなる程、減少する。
- (6) 極めて強い反射を示す物標では、レーダ・アンテナのサイドローブの影響が現われることがあるので注意を要する。

以上示した特性を考慮して、各種の処理を実施し、次のような船舶に関する情報を抽出することを検討する。

- (1) 船舶の形状
 - (2) 船舶の種別
 - (3) アスペクト・アングル
 - (4) 航行中の船舶について、特にその位置の測定にあたり、映像の形状のどの位置をその船の船位として決定することが適切なのか、またその変動特性を定量的にとらえ、最適な処理方式アルゴリズムについての検討。
- 後述する観測・測定の結果からもこれらの有用な情報を抽出できることが示されている。

3. 実験、観測の方式と測定

3.1 実験および観測の方式

船形、船種、アスペクト・アングルおよび船位測定の適正化のための反射信号のデータを収集する目的を満足するように実験・観測を計画し実施した。その詳細は表1に示しているように約0.5nmの距離にある小型船の8方位のアスペクト・アングルにおけるレーダ反射信号の2次元分布、および約7nmにおける大型船のデータとその2つの種類のものについて収録した。収録にあたってはレーダ反射信号は他船のレーダによる干渉を受けたり、レーマークなどの信号が受信されるなど雑音や測定のためには不要な信号が極めて多いことと、各スキャン毎における2次元分布の変動特性を研究する意味からも可能な限り連続したスキャンの多数のデータを収録し、各データの相関処理から雑音の除去処理と相関係数を求められるよう配慮した。

3.2 測定装置の構成

測定装置に要求される主要な性能は、距離方向および方位方向の標本化間隔、連続したデータの最大収録容量、測定装置の操作の容易性および収録データの確認と解析用コンピュータへのデータ交換が容易であることがあげられる。これらの性能に関しては、ほぼ要求性能を満たす装置を開発することができ、表2にその概要を示す。

表1 観測・実験の要目

1. アスペクト・アングルの変化による比較測定の実験
 - 供試船 (東京商船大学付属練習船汐路丸) 331G/T, 37.8m
(ウェルデッキ型長船尾楼形状)
 - 距離 約0.5マイル
 - アスペクト・アングルの設定 正面から45°ずつ変えて合計8方位
2. 適正な船位測定のための実験
 - 供試船 浦賀水道を航行する大型船, 巨大船
 - 距離 約7~9マイル
3. データ収集の方法
 - レーダのパルス幅 短パルス (0.07 μ S) および長パルス (0.7 μ S)
 - 連続観測数 信号強度の変動および雑音の影響を考慮して32回 (アスペクト・アングルの比較測定) および28回 (適正船位の測定) の連続したスキャンにおける観測

表2 測定装置の性能の概要

- 方位角度標本間隔: 約0.1度
- 最高標本化周波数: 20MHz (距離にして7.5mに相当)
- 受信回路: 対数増幅特性 (ダイナミックレンジ約60dB)
- バッファメモリ: ダイナミックRAM型1メガバイト
- 収録する領域の設定: 方位方向256単位, 距離方向128単位を1つのブロック単位として所要の領域を任意に設定し, 収録可能

ディジタイザについては, 測定対象となる船舶を含む領域について効率良くバッファメモリ内に収録するために任意の角度範囲と任意の距離範囲を選択できるように制御回路を設計した。この測定装置全体は図1に示すように構成した。測定装置では測定データのBスコープ方式での擬似カラー表示を行なって磁気記録装置へのデータ収録の確認を容易に行なえるようにした。このような実験現場におけるデータの確認は極めて重要なことで, 今回の実験でもその有用性が確かめられた。

データは磁気記憶装置としては1/4時幅のカートリッジ式磁気テープを使用したのでカートリッジ1個あたり約10MBのデータを収録可能である。このカートリッジテープに収録されたデータは別の装置により標準の磁気テープに移し変えて使用することとした。

測定装置系統図

図1 測定装置系統図

3.3 解析処理表示装置の構成

標準の磁気テープに移送された反射信号データは解析用ミニコンピュータによって, 比較のための種々の表示出力をも得ることができる。

表示出力形式としては現在,

- (1) 多段階の擬似カラー表示もしくは白黒濃淡表示 (多色表示型カラーディスプレイ),

(2) 3 次元的表示方式によるもの (カラーグラフィックディスプレイ, プロッタ),

(3) ラインプリンタによる濃淡表示

が可能である。

4. 測定結果

観測で得られたデータは映像数で約700ケースにおよぶ。この膨大なデータから当面の解析処理の対象として、アスペクト・アングルが 0° 、 45° および 90° の場合について識別判定のための基礎的研究を実施することとし、送信パルス幅が $0.07\mu\text{S}$ および $0.7\mu\text{S}$ の場合の反射信号の2次元の分布について解析している。物標(船舶)からの反射信号の強度は極めて変動しており、図2に一例として示しているように信号強度の低い部分で特に変動している。そこで変動の影響を低減させ、反射信号の平均的特性を求めるために、32回の連続スキャンで得られた各データの同期加算を行なった。送信パルス幅を $0.07\mu\text{S}$ および $0.7\mu\text{S}$ 、アスペクト・アングルを 0° 、 45° および 90° とし、合計6ケースについて同期加算処理を行なった結果を図3～図8に示す。これらの図は横軸がレーダ・アンテナの回転する方向、縦軸を距離方向として表示したものである。図3、図4および図5に示された信号の強度分布状態から、供試船が向きを変えたことが識別できた。

これらの図3～図5は送信パルス幅が $0.07\mu\text{S}$ と短い場合のものであるが、送信パルス幅を $0.7\mu\text{S}$ と長くした場合について図6、図7および図8に示した。送信パルス幅を長くした場合では、強度分布状態の全体から見ると短いパルス幅の例よりも判りにくい、反射信号の前面の状態から検討すると短いパルス幅の例と同様に供試船がアスペクト・アングルを変えていることがわかる。

以上示した図3～図8では反射信号の前面における強度変化は顕著に表現することができるが距離方向における信号強度の分布状態はわかりにくいので平面的な濃淡表示で現したものを図9～図14に示す。これらの図は前出した図3～図8と同様に横方向がレーダ・アンテナの回転方向で標準化角度 0.1° で100単位、縦方向には距離をとっており、左端の番号の30番が手前側、1番が遠方側を示している。これらの図からはアスペクト・アングル

図2 3次元表示形式による反射信号の強度分布の状態
(送信パルス幅 $0.7\mu\text{S}$, アスペクト・アングル 90°)
(船までの距離0.5マイル)

図3 信号強度の分布状態
(送信パルス幅 $0.07\mu\text{S}$, アスペクト・アングル 0°)

図4 信号強度の分布状態
(送信パルス幅 $0.07\mu\text{S}$, アスペクト・アングル 45°)

図5 信号強度の分布状態
(送信パルス幅 $0.07\mu\text{S}$, アスペクト・アングル 90°)

図7 信号強度の分布状態
(送信パルス幅 $0.7\mu\text{S}$, アスペクト・アングル 45°)

図6 信号強度の分布状態
(送信パルス幅 $0.7\mu\text{S}$, アスペクト・アングル 0°)

図8 信号強度の分布状態
(送信パルス幅 $0.7\mu\text{S}$, アスペクト・アングル 90°)

図9 濃淡表示による信号強度の分布状態 (送信パルス幅 $0.07\mu\text{S}$, アスペクト・アングル 0°)

図10 濃淡表示による信号強度の分布状態 (送信パルス幅0.07 μ S, アスペクト・アングル45°) 図11 濃淡表示による信号強度の分布状態 (送信パルス幅0.07 μ S, アスペクト・アングル90°) 図12 濃淡表示による信号強度の分布状態 (送信パルス幅0.7 μ S, アスペクト・アングル0°)

図13 濃淡表示による信号強度の分布状態 (送信パルス幅0.7μS, アスペクト・アングル45°)

図14 濃淡表示による信号強度の分布状態 (送信パルス幅0.7μS, アスペクト・アングル90°)

の変化に伴う映像の歪みから、アスペクト・アングルの変化を知ることができる。

しかし、変化の状態は、送信パルス幅が長い0.7μSの場合のアスペクト・アングルが45°と90°の例では明確でない。このようなデータであっても、強調処理などのいくつかの基本的な画像処理を実施することにより変化の特徴を検出し、レーダ観測者にわかり易く表現することが可能である。

5. 考 察

約700例に及ぶレーダ映像の観測から、その観測結果の一部について処理解析したものを示した。供試船のアスペクト・アングルの判定については、図3～図5の短い送信パルス幅の処理結果例では容易に斜方向に向いていることの判定が可能である。従来、近距離の物標を観測するには小レンジ、短いパルス幅でレーダを使用していたが、図6～図8に示された結果からは、長いパルス幅であってもアスペクト・アングルの判定には支障はなく、むしろ表示方式によっては判り易くなることが分った。今後はデータ解析の範囲をさらに広げ、船の形状の影響についても検討する予定である。以上の考察とその他のデータからレーダで表示されている映像の一部分を筆者らが新しく開発した装置で拡大して表示するだけでも、前述したようにアスペクト・アングルが概略判別できる他に、船種、船形および動静の概略も定性的ではあるが判別できることがわかった。従って、レーダ画面上

で特定した映像について、このような測定表示装置を用いて部分拡大表示をすれば、航海上有効な情報を与えてくれるものと思われる。今までの一つの輝点としてだけしか見ていなかった船舶からの反射信号の詳細な内容が判ったことは、その意義が大きいと考えるものである。

6. あ と が き

船舶からのレーダ反射信号の2次元的分布に関して、第1報としてこのために新しく開発した測定装置の概要を示すとともに、収集された膨大なデータの一部についての処理解析結果を示した。収集されたデータは原始データのままであるので、これから種々の目的に応じた処理が可能であり、また利用しやすい記録媒体に収録しており、非常に多くの研究テーマが考えられるので、この方面に関心のある研究者の方々にもデータを提供して共に研究をすすめたいと考え、第1報として発表したものである。

最後に本研究に御協力戴いた汐路丸、佐藤修臣船長以下乗組員各位、ならびに関係者各位に厚く感謝致します。

質 疑 応 答

水城南海男：角度対距離表示にあたって、メイン・ビームが照射されたとき、10数ヒットのうちのそのピーク値を採用されたのでしょうか。

林 尚吾：オフボアサイトアングルの補正を行なった上で、レーダの送信パルス毎に方位角度の検出分解能の約0.1度でそのまま表示したものです。

注：質問の主旨がよく分らないが、各測定データは、その方向を中心としてビーム幅に含まれる同じ距離の物標からの反射信号の総和であることは当然である。

参 考 文 献

- (1) 庄司和民他：レーダ信号の統計的特性と処理Ⅰ,Ⅱ, 日本航海学会論文集, 第50号, 第51号, 昭和48年12月, 昭和49年7月
- (2) Ship Recognition with a High Resolution Radar, N.R.L. High Resolution Branch Radar Division, Sept. 1965. (主著者不詳)
- (3) Brian P. McCune and Robert J. Drazovich, Radar with Sight and Knowledge, Defense Electronics, Aug. 1983.
- (4) 林尚吾, 飯島幸人, 平野弘昭：橋梁におけるレーダ偽像低減のための電波吸収材の貼付効果, 東京商船大学研究報告, 第33号, p. 51~75, 昭和57年12月
- (5) 井上篤次郎, 加藤雅司：船用レーダを利用した波浪解析の一方法, 日本航海学会論文集, 第67号, p. 127~p.136, 昭和57年8月
- (6) 松野達雄, 清水紀雄：船舶レーダによる波浪観測Ⅰ, 日本航海学会論文集, 第69号, p.107~p.114, 昭和58年9月