海上交通調査におけるレーダ利用方法の改善について—II.

—線形重回帰モデルによる船舶の全長の推定—

佐藤 尚登* ・ 宮崎 保光**

竹中 康雄*** ・ 辻 啓介****

The Improvement of Marine Traffic Survey Using Radar
and the Way of its Analysis — II.—Estimation of the Vessel's Overall Length by
the Linear Multiple Regression Model—

Naoto SATOH, Yasumitsu MIYAZAKI

Yasuo TAKENAKA and Keisuke TSUJI

Abstract

The authors made an attempt to estimate the overall length of a vessel indicated as a target on a radar PPI. It was assumed that an estimate of the overall length was given by the formula of a linear multiple regression model. To find estimates of parameters appearing in a functional dependence between variables, we applied the method of least squares. The variables of the function were experimentally determined from the measures of an image on a radar PPI by using the image processing techniques.

In this report we are going to report on the results of measurement from the marine traffic survey in Akashi channel obtained by using the aforementioned method. The conclusions are as follows.

As for the results of comparison between the data estimated from the linear multiple regression equation and those from the actual ship, the agreement is remarkably good. The improvement of the image processing techniques shows the possibility of the automatic analysis of the marine traffic.

1. は じ め に

レーダ観測で行われる交通調査の解析では、レーダ映像と目視観測記録とを照合する同定作業によって、レーダに表示された映像がどのような船舶であるかなどを決定している。この目視観測記録には、一定の見通し線上を通過した船舶の船名、船種及び大きさなどを記載するが、夜間や雨中などで視界が制限される場合には、この目視観測が困難となる。このように視界が制限され、船名の読み取りなどが困難な場合には、船影やマスト灯の様子から船舶の大きさや船種を判断して所定の事項を記録しているが、観測者の主観に大きく依存することから、観測結果には多くの誤差が含まれることになる。

* 広島商船高等専門学校（〒725-02 広島県豊田郡東野町4272-1）

** 豊橋技術科学大学（〒440 豊橋市天伯町字雲雀が丘1-1）

*** 海上保安大学校（〒733 呉市若葉町5-1）

**** 大島商船高等専門学校（〒742-21 山口県大島郡大島町大字小松1091-1）

そこで、視界不良時における調査結果の信頼性を向上させるために、目視観測に代わる方法として、レーダに表示された船舶の映像の大きさが、その船舶のトン数や長さなどに関係が深いことを利用して、レーダの表示映像から船舶の長さやトン数を推定する方法を検討し、その信頼性について検証した。

特に筆者らは海上交通調査とその解析を通じて、船舶の全長とレーダ映像の大きさには、極めて高い相関があることを経験的に把握してきた。従って、まず初めにレーダ映像の情報を用いて船舶の全長を説明する回帰モデルを想定し、船舶の全長を回帰式で与えることを試みた。回帰モデルは物標までの距離と、その映像の大きさなどから説明できると思われたが、レーダから直接これらのデータを測定することは困難である。従って、パーソナルコンピュータ（以後、パソコンと略記する。）のブラウン管上にレーダ映像を表示する装置を製作して、パソコンの表示画像からデータの計測を行う画像解析システムを構築し、回帰モデルに必要なデータを計測した。レーダ映像は、明石海峡の交通調査において、レーダ信号をビデオテープレコーダ（以後、VTRと略記する。）に記録したものを再生して用いた。これらの映像から49隻分のデータを計測し、重回帰分析を行い⁽¹⁾、レーダに表示された船舶の全長を推定する回帰式を導いた。この回帰式から求められた推定値は、実際の船舶の全長と高い相関を持つことが確かめられた。さらに、交通解析では、船舶の総トン数で大型船、中型船、小型船など、大きさの分類が必要とされるから、回帰式から得られた全長の推定値を用いて、レーダ映像として表示された船舶の大きさ（大、中、小型船）の判別分類を行った。その成功率を求めることによって目視に代わる判別方法の効果を確かめた。本論では、昭和62年7月29日から同年7月31日に行われた明石海峡の交通調査結果を使用した⁽²⁾が、回帰分析のデータには昼間の調査結果で、目視観測で船名が確認され、さらに船舶明細書によって主要寸法が判明したもののみを使用した。なお、画像解析に用いたレーダ映像はVTRに記録したレーダ信号を再生したものである。

2. 再生レーダ映像の信頼性

レーダ観測の映像記録方式として、レーダ信号そのものをVTRに記録し、必要に応じて再生するシステムを既に報告している⁽²⁾。ここでは再生映像の信頼性について、装置の帯域特性に関する測定を行い、その性能を明らかにした。

一般に、船用レーダのパルス幅は $0.08 \sim 1.2 \mu\text{s}$ と極めて狭く、ビデオ回路には極めて広い周波数通過帯域幅が必要とされる。一方、一般のVTRでは、録画ヘッドを含めた装置全体の周波数通過帯域幅は $2 \sim 3 \text{ MHz}$ 程度であり⁽³⁾、市販のVTRを使用しているレーダ映像記録再生装置の周波数通過帯域幅は、レーダ映像の記録再生装置として不適当である恐れがある。すなわち、装置全体の周波数通過帯域特性が狭すぎる場合には、信号の

図1 レーダ映像記録再生装置の周波数特性

録再生装置の周波数通過帯域幅は約 2.2 MHz であることが分かる。

2.2 波形歪とSN比

パルス信号発生器（アンリツ製、MG-412B）を使用して基底部の幅が $1.0, 0.6, 0.1 \mu\text{s}$ の方形波パルス及び三角波パルスをレーダ映像記録再生装置に記録し、再生した波形をシンクロスコープで観測した。その結果、 $1.0 \mu\text{s}$ と $0.6 \mu\text{s}$ の方形波及び三角波の再生信号では、パルス幅の僅かな広がりや $0.1 \mu\text{s}$ から $0.2 \mu\text{s}$ 程度の信号遅延が見られたが、ほぼ入力信号を忠実に再生している結果が得られた。一方、 $0.1 \mu\text{s}$ 幅のパルスの再生では、

消滅、振幅の減衰、波形歪、群遅延特性の劣化などの現象が現われる⁽⁴⁾。従って、ここでは再生信号の信頼性を調査確認するため、2.1) 周波数特性、2.2) 波形歪とSN比について検証した。

2.1 周波数特性

標準信号発生器（アンリツ製、4329A1）を使用して、 100 kHz から 4 MHz までの正弦波をレーダ映像記録再生装置で記録再生し、その再生信号の周波数に対する出力振幅の変化（周波数特性）を測定した。その結果を、 100 kHz の出力振幅を基準にプロットして示す（図1）。この図から、レーダ映像記

出力振幅に 10 dB 以上の減衰があり、パルス波形も歪んでその幅は 3 倍程度となった。これらはレーダ映像記録再生装置の周波数通過帯域幅が約 2.2 MHz に制限されていることに起因している⁽⁴⁾。

一般に、特定のパルス幅 (τ) に対して必要とされる中間周波数増幅段での最適通過帯域幅 (B_{op}) は、SN 比を最大にする条件において $1.2/\tau$ 程度、分解能を重視する場合において $2/\tau$ 程度である。ビデオ増幅段ではこの半分の通過帯域幅で良いから、分解能を重視する場合でも $1/\tau$ 程度の通過帯域幅があれば充分である。すなわち、パルス幅が $0.6 \mu s$ であるならば、ビデオ増幅段に要求される最適通過帯域幅は 1.7 MHz 程度ということになる。また、逆にレーダ映像記録再生装置の周波数通過帯域幅が 2.2 MHz であるならば、 $1/2.2=0.45$, すなわち $0.45 \mu s$ 程度のパルス幅までは充分に対応可能であると言えよう。

再生信号の SN 比については、再生信号のピークピーク値とノイズのピークピーク値を測定して、実効値換算で示す⁽⁵⁾ことと規定されているが、シンクロスコープによる測定では、内部ノイズは無視できる程度しか観測されなかった。

本論の解析モデルとした明石海峡の交通調査では、レーダ装置のパルス幅 $0.6 \mu s$ で観測し、レーダ映像記録再生装置に録画した。すなわち、その記録再生映像は十分な信頼性を有し、観測時の状況を忠実に再現していると言えよう。

3. 画像解析システムとレーダ映像の大きさ等の測定

3.1 画像解析システム

レーダブラウン管上で、船舶の表示映像の大きさを直接測ることは容易ではない。そこでレーダ映像をまず、画像データとしてパソコンの外部補助記憶装置に取り込み、それをパソコンのビデオ用ランダムアクセスメモリ (以後、ビデオ RAM と略記する。) に転送して、グラフィック画面上にレーダ映像を再現し、その画像データを解析することによって計測している (図 2)。ここで、画像データとしてレーダ映像をパソコンへ取り込む方法は次のようにしている。

図 2 画像解析システム

カラーレーダではレーダ映像の入出力形態である極座標データを、直交座標データに変換してビデオ RAM に記憶しているが、このビデオ RAM の出力は映像信号として CRT に送られ、ラスタースキャン方式で表示されている。従って、カラーレーダからパソコンへのレーダ画像データの取り込みは、ビデオ RAM の内容をエンコーダで読み取って、専用のメモリに一時記憶し、通信機能を利用してパソコンの外部補助記憶装置に転送することで行っている。

この種のエンコーダ及び専用メモリなどの画像取り込み装置は、フレームメモリと呼ばれ、TV 用の機器が一般に市販されている。一方、これらの装置はそのままではレーダ映像に対応できず、またレーダ用の装置も市販品の中には見あたらないため、レーダ映像取り込み装置 (以下ビデオメモリと呼ぶ。) を新たに製作した。このビデオメモリの概要を表 1 と図 3 に示す。また、動作の概要は次の通りである。入力信号はレーダビデオ信号 (R, G, B), 水平, 垂直同期信号, そしてメモリなどの動作タイミングに必要なクロック信号

表 1 ビデオメモリの仕様

画素	512×512画素 (1フレーム) (拡張 1024×1024画素)
量子化ビット数	2ビット
サンプリングクロック周波数 (外部)	15.29MHz
入力信号	セパレート・ビデオ信号 ビデオ信号 R, G, B ビデオ信号 同期信号 水平信号 (23.6kHz) 垂直信号 (5.26Hz)
走査方式	ノンインタレース
出力信号	ASCIIフォーマット
インターフェース	RS-232C 規格

である。外部の制御装置 (パソコン) から、画像取り込み命令が RS-232C による通信回線を介して送られると、ビデオメモリは垂直同期信号に同期してカラーレーダの一面画分 (512×512画素) の画像データをダイナミック・ランダムアクセスメモリ (DRAM) に記憶し、取り込み終了を検出した後に、RS-232C 通信回線を

図3 ビデオメモリのブロックダイアグラム

介して外部の装置（パソコン）に画像データを送信する。

3.2 レーダ映像の大きさなどの測定

ビデオメモリを介して、カラーレーダの映像をパソコンのグラフィック画面に表示させることができた。パソコンのグラフィック画面にはカラーレーダ（512×512画素）に対応した画素でレーダ映像が表示されるので、レーダの表示範囲を示す数値を画像解析システムに与えれば、1画素当たりのレーダ映像の大きさが決定される。すなわち、レーダに表示された映像の大きさや距離は、グラフィック画面の画素数を数え、実際の寸法に換算することで知ることができる。

本論における船舶の全長は、船舶がレーダに対してほぼ真横となる位置に来たときの船首尾方向の画素数を数え、この値に1画素当たりの長さを乗ずることで求めている。

レーダの利得及びレンジについては、次のように設定した。なお、レーダは送信出力 25 kw, 空中線（スロットアレイ）長さ 8 feet, 水平ビーム幅 0.95° である。

1) レーダの利得

レーダの物標探知能力は送信出力、アンテナ高さ及び物標の有効反射断面積などによって左右される。また、レーダブラウン管上で物標を明確に識別するには、20 dB 程度の信号対雑音比（SN比）が必要とされる。著者らは瀬戸内海でよく見られる長さ 9 m 程度の漁船に対して、20 dB の SN比が得られる探知距離を、送信出力 10 kw のレーダの場合で約 2.8 km 程度であるとしたが⁽⁶⁾、本論で使用した送信出力 25 kw のレーダの場合には、同じ条件のもとで約 3.5 km 程度となる。従って、レーダの利得の設定は、この程度の大きさの漁船でも約 20 dB の SN比を得ることができるよう留意した。

2) レーダのレンジ

画素数での表現を実際の寸法に換算する場合には、1画素当たりの換算値が小さいほど精度が良い。従って、画像解析範囲を考慮しつつ、レーダのレンジをできるだけ小さく設定する方が望ましい。明石海峡の幅は約 4 km 程度であるので、レーダ表示をオフセンタして、レンジを 1.5 海里に設定した。その結果、1画素当たりの換算値は約 14m となった。

4. レーダ情報から推定される船舶の全長と交通解析

船舶の全長とそのレーダ映像の大きさには、極めて高い相関があることを経験的に把握してきた。従って、船舶の全長をレーダから得られる映像の船首尾方向の大きさ、船舶までの距離、レーダアンテナのビーム幅に起因する方位拡大効果などを説明変数とする回帰モデルによって推定することを試みた。そのため、明石海峡での交通調査で記録したレーダ映像を再生し、画像解析システムを用いて回帰モデルに必要なデータを計測した。なお、計測は目視観測において船名が確認され、船舶の主要寸法が明らかであるもののみを対象とした。

4.1 重回帰分析

レーダ画像解析システムを用いて計測したデータは、映像の大きさ及び物標までの距離と方位である。船舶の全長を推定するのに必要なデータとして、物標までの距離（ E ）、レーダ映像の船首尾方向の大きさ（ C ）及び方位拡大効果に基づく広がり（ F ）などが挙げられる。一般に、回帰モデルを考える場合には、なるべく少ない説明変数で記述できることが望ましく、また説明変数の中に互いに相関の高い変数が含まれると多重共線性を起こ

表 2 レーダから計測したデータの基本統計量

変数	平均(m)	最小値(m)	最大値(m)	標準誤差	ヒズミ	ト別
F	25.854	1.900	57.600	14.254	0.443	0.461
C	154.413	42.000	324.604	72.497	0.535	-0.509
E	1509.613	32.059	3471.000	887.063	0.459	0.324
G	128.557	37.500	292.544	69.136	0.779	-0.474
A	103.143	26.000	293.000	67.644	1.166	0.694

相関行列

	F	C	E	G	A
F	1.0000				
C	0.3287	1.0000			
E	0.9488	0.2138	1.0000		
G	0.1385	0.9809	0.0286	1.0000	
A	0.0899	0.9093	-0.0373	0.9349	1.0000

注) F= 方位拡大効果に基づく広がり, C=船首尾方向の測定長さ
E=レーダの測定距離, A=船の全長, G=C-F

表 3 重回帰分析に使用した船舶の分類

区分 船種	小型船 3千トン 未満	中型船 3千～ 2万トン	大型船 2万トン 以上
タンカー	8	4	2
貨物船	10	8	5
フェリー	6	6	0
計(隻)	24	18	7

表 4 重回帰分析に用いたデータの例

データ 番号	方位拡大効果に 基づく広がり(m)	船首尾方向 の測定長さ(m)	実際の 全長(m)
1	13.00	70.00	43.00
2	55.70	141.00	54.00
3	25.04	155.24	105.00
4	32.06	324.60	293.00

表 5 重回帰分析の結果

		自由度2重	
残差		寄与率 (R ²)	調整寄与率
1 3 9 5 0 . 3 4		0 . 9 0 9	0 . 9 0 0
変数	偏回帰係数	標準誤差	t 値
切片	- 1 1 . 9 0 4	7 . 3 8 3	- 1 . 6 1 2
F	- 1 . 0 9 1	0 . 2 0 1	- 5 . 4 3 4
C	0 . 9 2 3	0 . 0 4 6	2 0 . 1 5 1

注) F= 方位拡大効果に基づく広がり, C=船首尾方向の測定長さ

すので、まず変数間の相関を基本統計量として求めて検討した(表2)。ここで「方位拡大効果に基づく広がり (F)」は「物標までの距離 (E)」の関数であり、互いに高い相関があることが分かる。さらに「映像の船首尾方向の長さ (C)」と「映像の船首尾方向の長さ」と方位拡大効果に基づく広がり (G: CとFの差) の間にも高い相関がある。従って、船舶の全長を推定する重回帰分析では、「方位拡大効果に基づく広がり (F)」と「映像の船首尾方向の長さ (C)」のデータを説明変数とすることが適当であると言えよう。重回帰分析には、49隻の計測結果と船舶明細書によって得られたその船舶の主要寸法のデータを用いた。表3に49隻の船種の分類を示す。また重回帰分析に用いたデータの例を表4に示す。これらのデータを用いて重回帰分析を行い、最小2乗解として回帰モデルの切片と偏回帰係数を求めた(表5)。また同表には検定に必要なデータも併せて示す。検証したデータは49隻分であったが重回帰分析の結果、データの外れ値が5隻分あったので、これらを除く44隻分についての結果を示した。重相関係数 (R) は0.95、寄与率 (R²) は0.909で、自由度2重調整済み寄与率は0.90であった。このように、「方位拡大効果に基づく広がり (F)」と「映像の船首尾方向の長さ (C)」の2変数による回帰式のあてはまり程度は約90%であることが分かるが、これらの2変数が船舶の全長の推定に寄与しているかどうかは、統計的にF検定を用いて確かめられる。同様に、個々の偏回帰係数が船舶の全長の推定に寄与しているかどうかはt検定を用いて確かめられる。従って、まず初めに切片が船舶の全長の推定に寄与するかどうか、言い換えれば切片が“0”で寄与しないかどうかt検定を行った。表5に切片のtの値が示されるが、自由度41のt分布の5%点 (t(2, 41; 0.05)=2.02) と比較すると、切片のtの値 (|t|=1.612) が小さい。従って、切片が“0”であることは棄却できない。この結論は切片の信頼区間を求めても同様に導かれる。すなわち、切片の95%の信頼区間は、t分布の5%点t(2, 41; 0.05)で求めると、-11.904 ± 2.02 × 7.383 (= -26.8 ~ 3.0) となり、この区間には“0”が含まれ、原点を通るという仮説が棄却できないことが分かる。そこ

表 6 全長を求める回帰式の偏回帰係数, 標準誤差等

変数	偏回帰係数	標準誤差	t値	F値
F	-1.215	0.189	-6.430	41.349
C	0.879	0.035	24.800	615.053

注) F=方位拡大効果に基づく広がり, C=船首尾方向の測定長さ

図 4 船舶の全長とその推定値との相関

なお、図上のデータ数は23隻分であるが、これは一隻分が他と重なっているためである。

4.3 交通解析

交通調査の解析では、船舶の大きさ（総トン数）で区分して解析するが、その大きさは目視観測から得たものである。前述したように、目視観測には夜間などで視界が制限される場合には、無視できない誤差が含まれ、信頼性の点で問題が起こる。そこで目視観測に代わる信頼性の高い方法を検討するに際して、回帰モデルを利用した。すなわち、船舶の主要寸法の解析において、船型と主要寸法には高い相関がある事が報告されている⁽⁸⁾。従って、レーダで観測された映像から、回帰モデルによって船舶の全長を推定し、さらに全長から船舶の大きさ（総トン数）を推定することを試みた。船舶の全長と総トン数の関係は、日本船舶明細書（1988年）記載の9013隻の主要データから調査した。ここでは交通解析の分類を参考に、総トン数で大型船（2万トン以上）、中型船（3000トン～2万トン未満）及び小型船（3000トン未満）に区分した。また全長との関係は、船舶明細書のデータを計算機を用いて分類した結果、大型船は185m以上、中型船は99～185m未満、小型船は99m未満となった。小型船（3000トン未満）では7965隻中98.7%が99m未満で、中型船（3000～2万トン未満）では642隻中88.4%が99～185m未満及び大型船（2万トン以上）では406隻中91.8%が185m以上であった。従って、全長区分で求めた値は、概ね総トン数区分に代わる基準として使用できよう。

レーダで観測された船舶の全長の推定値を用いて、その船舶の大きさを総トン数区分として判別できるか否かについて、次の様に確かめた。例えば、回帰式による推定値が185m以上の場合は、まず大型船として判別した。次に目視観測によって船名がわかっているから、船舶明細書で長さ（m）と総トン数を求め、長さが185m以上で総トン数が2万トン以上なら大型船と判断し、すべてが合えば推定値による判別が正しいとした。24隻について試みたが、正しいとされた結果を割合で示せば、小型船では6隻/10隻、中型船では8隻/10隻そして大型船では4隻/4隻で、約75%の成功率が得られた。

小型船や中型船での判別が不成功になった例を挙げる。例えば推定値が110mである場合には、全長の区分から中型船とまず判断されるが、次に船舶明細書の主要寸法で全長が99～185m未満で中型船と区分されても、総トン数が3000トン未満であった場合は、総トン数を優先して小型船と判断された。前述したように中型船（3000

で、切片を除いて再度重回帰分析を行った(表6)。偏回帰係数のF分布及びt分布の検定に必要なF値とt値も併せて示す。この結果から回帰係数についてF及びt分布の5%点で、前述した方法で検定を行い、回帰の有意を確かめ、次の回帰式を求めた。

$$Y = -1.215 X_1 + 0.879 X_2 \quad (1)$$

レーダに表示された船舶の全長の推定値(Y)は、方位拡大効果に基づく広がり(X₁)とレーダ映像における船首尾方向の大きさ(X₂)から、(1)式により推定することができる。

4.2 推定値と実際の全長との相関

このモデルの有効性を検証するために、新たに24隻分についてX₁とX₂のデータを画像解析システムによって計測し、回帰式を用いて全長を推定し、船舶明細書から求めた実際の値と比較した。それを相関図に表した結果を図4に示す。相関係数は0.9594であり、推定値(X)と実際の全長(Y)との関係は最小2乗解から、回帰式Y=1.08X、標準誤差0.031で近似される。図示された結果から、回帰モデルによる船舶の全長の推定は有効であると言える。

～2万トン未満)では約12%の船舶が99～185m未満の区分に入らず、これらの船舶では全長だけでは判別が難しい。今回使用したデータの中にも、このような船舶が2隻含まれていた。また区分の基準とした99m付近の全長を持つ小型船舶では、推定値の誤差から判別に失敗した。例えば実際の全長が95m(3000トン未満)の船舶を推定値で105mとした場合には、長さ区分から中型船と判別される。小型船では、このケースが4隻あり判別に失敗した。このような場合を除けば、判別は高い割合で成功する。

5. 結 論

レーダ映像の大きさなどから、その船舶の全長を推定する回帰モデルについて研究を行った。回帰モデルの重回帰分析に必要なデータは、明石海峡で行われた交通調査のレーダ映像の画像解析から求めた。その結果、船舶の全長を推定する回帰式を導くことができた。また、回帰式から推定された船舶の全長が、実際の全長とどの程度一致するか検証を行った。さらに、回帰モデルを交通調査の解析に応用することを試みた。これらの結果を整理すると、

1) レーダに表示された船舶の全長は、レーダ映像の船首尾方向の大きさと方位拡大効果に基づく広がりをも説明変数とする回帰モデルによって示される。また、回帰モデルを用いて船舶の全長を推定したが、実際の全長と良く一致することが確かめられた。ただし、現時点におけるモデルの適用範囲は、明石海峡の幅(約4km)程度である。

2) 交通調査の解析では、総トン数による区分で船舶を分類し解析している。それに対応させるため、レーダで観測された映像から回帰モデルを用いて、船舶の全長を推定し、さらに総トン数による区分で大、中、小型船に分類判別することを試みた。その結果は約7割程度の成功率であった。

視界が制限され目視観測が困難となる場合には、この判別方法を利用することにより、測定の信頼性をさらに上げることが期待できる。さらに、レーダ映像と目視観測記録との照合による同定作業は多くの労力と時間が必要とされ、作業の省力化や自動化が期待されるが、本論で紹介した船舶の全長や総トン数の推定方法は、同定作業の自動化への一手法を提供しているとも言えよう。

3) レーダ映像データは、明石海峡の交通調査においてレーダのビデオ信号をVTRに記録再生したものを用いたが、再生信号の信頼性について、レーダ映像記録再生装置の周波数通過帯域特性などを測定して検討した結果、パルス幅が $0.45\mu\text{s}$ 以上であれば問題ないことが確認できた。

今回はレーダから見て、船舶がほぼ真横である場合の映像の大きさから、船舶の大きさを推定する回帰モデルを導いたが、今後の課題として、これを任意の方向での問題に拡張発展させる事が必要であろう。

謝 辞

本論で使用した交通観測の資料は、昭和62年に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を使用した。資料の提供を頂いた両団体、及び有意義な御議論を頂いた神戸商船大学原潔教授、井上欣三助教授そして富山商船高等専門学校河合雅司助教授、またレーダ信号の記録再生装置の信頼性測定に御指導を頂いた本校谷村聖二郎教授にお礼申し上げる。さらに昭和63年度文部省情報処理教育者上級講習会にて、回帰分析の手法を御指導頂いた東京理科大学工学部芳賀敏郎教授にお礼申し上げる。また、本研究は平成元年度文部省科学研究費一般(C)により実施されたことを付記する。

参 考 文 献

- (1) A. A. SVESHNIKOV: Problems in Probability Theory, Mathematical Statistics and Theory of Random Functions, DOVER PUBLICATIONS, INC, NEW YORK, pp. 275—374, 1978
- (2) 佐藤尚登ほか: 海上交通調査におけるレーダ利用方法の改善について, 航学論77号, pp. 115—123, 1987
- (3) 原正和, 高橋三郎: 小型VTR, 日本出版放送協会, pp. 113—118, 1981
- (4) 吉盛文博: video 信号の特徴, エレクトロニクスライフ, 日本出版放送協会, pp. 12—18, FEB. 1987
- (5) 沢崎憲一: 電子工学進歩シリーズ4 VTR, コロナ社, 1971
- (6) 佐藤尚登他: 架橋とレーダ偽像, 航海76号, pp. 30—37, 1983

- (7) 圓川隆夫：多変量のデータ解析，朝倉書店，pp. 22—38，1988
(8) 奥山育英：船舶の主要寸法の解析，航海95号，pp. 11—20，1988

質 疑 応 答

井手麻奈美(沖電気工業㈱)：(1) 成功率が約80%という事ですが，失敗した場合の対策等についてお考えがありますか。(2) レーダ映像信号は距離によって減衰しますが，その距離補正についてどのようにされていますか。

佐藤尚登：(1) 船舶の全長と総トン数の関係は，奥山の報告にある⁽⁸⁾ように，指数曲線によって近似されます。著者らも船舶明細書記載の9013隻の主要寸法を計算機で解析しましたが，同様の結果を得ております。しかしながら，誤差は免れません。従いまして，全長から総トン数を判別する場合の確率には，この誤差と全長の推定値の誤差が複合して影響を及ぼしますから，成功率が100%となることは困難です。本方式を交通解析に用いる場合は，総トン数よりも，むしろここでの全長の推定値を交通解析に用いることが良いと判断されます。さらに，ここでの成功率のとらえ方としては次のように考えます。従来，視界が制限された場合の目視観測記録には，十分な信頼を持つことが出来ませんでした，本方式によれば約7割程度の信頼が与えられます。このような点に着目すべきと考えます。

(2) ご質問は，レーダでの物標の反射信号強度は，距離(d)の $1/d^4$ 及び $1/d^6$ で減衰するから，その場合はどのように考えるのかの意味だと思います。ご指摘のように，レーダ探知距離には限界があります。本論では，約9 m程度の小型漁船の探知距離は，約3.5 km程度です。明石海峡(海峡幅約4 km)の通行船は，この小型漁船よりも大きく，従ってほとんどの船舶が探知できることになります。距離補正の意味が良く解りませんが，明石海峡の幅約4 kmの範囲内では対策を必要としません。