他船実画像からの船舶間相対距離算出 に関する研究

非会員 林 祐 司 (神戸商船大)

正 員 若 林 伸 和 (電気通信大)

非会員 北 橋 忠 宏 (大 阪 大)

Computation of the Distance between a Target and own Ship from its Image at Sea

Yuji Hayashi, Non-member (Kobe University of Mercantile Marine), Nobukazu Wakabayashi, Member (University of Electro-Communications), Tadahiro Kitahashi, Non-member (Osaka University)

In a current experimental automatic navigation system, an Automatic Radar Plotting Aids (ARPA for short.) is only a device to acquire navigation information about ships in a radar visibility. We are developing image processing techniques for calculating the distance to a target ship based on processing scenery pictures, which has originally been obtained from the visual images and used as navigation information by ship operators. This scheme is realized by measuring a minute angle between a horizon and a waterline in a scenery image and computing the distance to a target.

In this paper, we describe (1) a derivation of theoretical equations for calculating the distance to a target by means of the computed minute angle, (2) a verification of the efficiency of Mouse pointer ranging system, and (3) development of semiautomatic system assisted by image processing techniques, that is named Semiautomatic image ranging system.

We have tested correctness of the equations and the accuracy of their calculations by applying 148 pictures and 214 images to the systems.

キーワード：測距，船舶間相対距離，水平線，無限遠点，地上気差

1. ま え が き

船舶が安全に航行するためには，自らの船舶(以下，自船という)，その周辺に存在する船舶(以下，他船という)およびそれらを取りまく環境に関する航行情報が必要である。とりわけ他船と自船間の距離に関する情報は，衝突回避のために不可欠な情報である。このような船舶間相対距離情報を得るためのシステム(以下，測距システムという)が開発され，情報の収集にとどまらず，更に自動航行を実現するシステムへの応用⁽¹⁾が試みられている。現在，研究中の船舶自動航行システムは他船航行情報獲得のためのセンサとして

自動衝突予防装置(Automatic Radar Plotting Aids)付きレーダ⁽²⁾(以下，ARPA レーダという)を使用しているものが一般的である。しかし，自動航行を実現するためには，測距システムの機能に航海士の視覚に対応する機能が実現される必要がある。そのため，ARPA レーダに航海士の視覚と同等，もしくはそれに近い能力を付加したシステム⁽³⁾の開発が試みられているが，現時点では実用に至っていない。

ARPA レーダは，電波を利用した測距システムであるが，偽像の発生，目標の乗り移り現象⁽⁴⁾および特定の気象，海象状況により使用不能となることがある。実際に，ARPA レーダが使用不能であっても航

海士の目測が可能という状況も存在する。そこで、航海士の視覚に代替できる可能性のあるものとして、画像処理および画像理解技術に着目し、これらを用いた他船実画像からの航行情報抽出についての研究を行い、実用システムの構築に必要な技術開発を進めることは重要であると考えられる。そのようなシステムが実現されれば、レーダとはまったく異なる原理に基づく航行情報の獲得手段が利用できることになり、自動航行システムの信頼性向上にもつながるものと期待できる。

その第一段階として、航行情報抽出の基本となる自船から他船までの距離(以下、船舶間相対距離という)を、観測したシーンから算出する測距理論式を導出した。この式は、洋上の特殊性を活用し、海域、時刻および気象についてのある条件を満足すれば、船舶のシーンに存在する水平線を無限遠点⁽⁵⁾に準じるものとして、水平線と喫水線により、観測点からの距離を算出することができる。

第二段階として、測距理論式の実用性の確認とシステム化の実現可能性を探ることを目的とし、船舶実画像を処理した画像上で、距離計算に必要な点の座標値をマウスポイントにより入力し、計算処理する画像処理測距支援システム(以下、マウスポイント方式という)を開発した。これは、観測したシーンの画像を細線化処理まで実施した後、水平線および喫水線の抽出を操作者がマウスにより行うという会話型システムである。しかし、マウスポイント方式は、人間の処理が介在する部分が数多く残されており、実用システムとするためには更に操作性の向上および処理時間の短縮化を図り自動化の度合を向上させる必要がある。そのため、第三段階として海領域抽出のためのしきい値のみ操作者が設定し、その他の過程を自動化した画像処理測距支援システム(以下、半自動海領域抽出方式という)を開発した。これは注目する線分を抽出する処理に必要な“海”領域を決定するための濃淡のしきい値のみ操作者の判断により手入力し、それ以外の領域分割および特定の輪郭線抽出にかかわる部分を自動的に処理するよう改良したものである。また、画像の入力方法についても、マウスポイント方式においてはスチル写真のスキヤナによる入力を用いたが、より実際のシステムの使用形態を考慮し、半自動海領域抽出方式では、ビデオカメラによる入力に改めた。

本論文では、測距理論式の導出、マウスポイント方式および半自動海領域抽出方式について詳述したのち、実際の画像データを用いて処理した結果を示しその評価を行って、提案した測距システムの有効性を確

認する。

2. 実画像を用いた測距システム

〈2・1〉 船舶間相対距離算出の測距理論式 観測者の眼高と大気状態が一定で、視界が良好であれば、水平線は一定の距離に見えることは既知である。熟練航海士は自身の目から距離が既知の水平線と対象船舶(以下、目標という)の喫水線とのなす視角を目測することにより、目標までの距離を推測していると考えられる。この測距方法を基に、幾何学的理論式を求め、これに地上気差を考慮した測距理論式を導出する。

いま図1において、 R :地球の平均半径、 h :眼高、 E :観測点、 C :地球中心、 T :目標とすると、地球中心角 $\angle ECH (= \Omega)$ は(1)式で表される。

$$\Omega = \arctan \sqrt{(2h/R) + (h^2/R^2)} \quad \cdots \cdots (1)$$

この Ω を用いると、水平線までの幾何学的距離(DIST. H :単位は海里)は、(2)式で表することができる。

$$\text{DIST. } H = (2\pi \times \Omega \times R) / (360 \times 1852.2) \quad \cdots \cdots (2)$$

次に、 $\triangle ECH$ と $\triangle ECT$ において、 $\angle HET$ を θ 、 $\angle ECT$ を ω とし、正弦定理を適用すると、 ω は(3)式で表すことができ、目標までの幾何学的距離(DIST. T)は(4)式で表すことができる。この式を幾何学的理論式と呼ぶ。

$$\omega = 180 - [(90 - \Omega - \theta) + 180 - \arcsin\{(R+h)\sin(90 - \Omega - \theta)/R\}] \quad \cdots \cdots (3)$$

図1 測距理論式の導出説明
Fig.1. Explanation drawing for ranging formulas.

$$\text{DIST. } T = (2\pi \times \omega \times R) / (360 \times 1852.2) \quad (4)$$

この幾何学的理論式に地上気差を考慮するが、本研究では、大気の状態(気温摂氏 10 度、気圧 762 mmHg)において、光の走行距離が地球中心において張る角の 1/13 に等しいというビオ(J. B. Biot)の値⁽⁶⁾を採用し、この地上気差が、光線の通過する経路長に比例すると仮定し、(5)式のように ω の増減に応じて比例配分し、その値 ω' を求めた。その地上気差を考慮した DIST. T を DIST. T' とすると、DIST. T' は次の(6)式で表され、この式を測距理論式と呼ぶ。

$$\omega' = \{(\omega/2) \times (1/13) + 1\} \times \omega \quad (5)$$

$$\text{DIST. } T' = (2\pi \times \omega' \times R) / (360 \times 1852.2) \quad (6)$$

〈2・2〉 視角計算法 画像より測距理論式に用いる視角 θ を測定する方法は、対角線画角が既知のカメラとレンズの組合せで被写体を撮影し、対角線長に対して被写体の任意の点間の距離を画像上で測定して、比例計算によりそれらの点間の視角を求める。

視角計算法における画像対角線画角 Θ を求める略算式を(7)式に、 $\Theta \gg \theta$ を利用して Θ から θ を求める式を(8)式に示す。

$$\theta = 2 \times \arctan(D/2f) \quad (7)$$

$$\theta = \{\text{画像上の水平線喫水線間距離} / \text{画像の対角線長}\} \times \Theta \quad (8)$$

ただし f : レンズの焦点距離、 D : 原版の対角線長

〈2・3〉 システムの構成 上述のような理論式および計算法を利用し、実際に船舶間相対距離を実画像から算出する画像処理測距支援システムとして、図 2 の構成図に示す実験システムの構築を試みた。このシ

ステムは大別して画像入力部分と画像処理部分から構成されている。画像の入力方法が決まれば画像対角線画角 Θ を求める(7)式における D および f の値が、使用する光学系の機器によって決定される。また画像処理部における手続きは、視角 θ を求める(8)式における画像上の水平線喫水線間距離および画像の対角線長の値を、個々の画像に対して測定するための操作を意味している。

画像入力については、当初一般的なスチルカメラで海上の船舶を撮影し、イメージスキャナによりデジタル画像として入力する方式を用いたが、より実際のシステムの使用形態に合わせるため、ビデオカメラで直接シーンを取り込む方式を利用できるようにした。画像入力方式については次節で詳述する。

画像処理部分については、処理の高速化を考慮し、主な画像処理は画像処理専用機で行うこととし、その制御と入力画像・処理結果の授受および一部の画像処理にエンジニアリングワークステーションを用いている。具体的な画像処理の内容については、マウスポインタ方式および半自動海領域抽出方式のそれぞれの場合について第 3 章および第 4 章で詳しく述べる。

〈2・4〉 画像入力方式 画像入力的方式により視角計算法における画像対角線画角を求める(7)式のパラメータが決定される。以下にスキャナ入力およびビデオカメラ入力の場合について、入力の方法とパラメータに用いる値について説明する。

(1) スキャナ入力方式 一般的なライカ版一眼レフカメラを用いてシーンを撮影し、そのネガ全体をプリント対角線で約 200 mm の印画に引き伸ばす。この際、画像の対角線長を視角計算法における(8)式に与える必要があるため、ネガのこま全体が入るようにマスクを外して原版の枠も写し込むこととする。これをカラーイメージスキャナにより RGB 各 256 階調の画像として読み取り、約 1,000×720 画素のデータを得る(各印画により画素数は若干異なる)。その後、RGB 成分それぞれを NTSC 方式テレビの規格⁽⁷⁾に則り、重み付き平均して 256 階調の白黒画像データとする。

この方式では、カメラに取り付けるレンズとして、焦点距離 $f=400.89$ mm および 50.10 mm の 2 本のレンズを用いたので、写真により使用したレンズに合わせてこれらの値を(7)式に適用する。また、原版の対角線長はライカ版とし(7)式の D の値には 43.3 mm を用いる。

(2) ビデオカメラ入力方式 3 管式ビデオカメラを用いてシーンを撮影し、512×480 画素の RGB 各

図 2 画像処理測距支援システムの構成
Fig. 2. Image ranging system overview.

256 階調カラー画像データをオプティカルディスクレコーダに記録し、画像処理専用機へ入力した後、RGB 成分それぞれを前述の重み付き平均により 256 階調白黒画像データとする。

この方式においてもビデオカメラに取り付けるレンズはスキャナ入力方式で使ったスチールカメラのそれと全く同じものを用いたので、(7)式中の焦点距離 f は前述の値 ($f=400.89$ mm または 50.10 mm) を用いる。原版の対角線長は、使用したビデオカメラの受光部分の対角線の長さである 11.0 mm を D の値とする。

3. マウスポインタ方式

マウスポインタ方式は、カラーイメージスキャナを入力装置とし、ワークステーションに C 言語を用いて実装した。その画像の処理は(1)から(4)の順序で行われる。なお、図 3 は入力画像の例および図 4 は細

図 3 入力画像の例
Fig. 3. An input image.

図 4 細線化処理画像の例
Fig. 4. A processed image.

線化処理画像の例である。

(1) エッジ検出 Sobel オペレータ⁽⁸⁾を用いて微分した結果を 256 階調に線形変換する。

(2) 二値化処理 微分画像データの濃度値 60 以上を 1, 59 以下を 0 とする固定しきい値法により二値化し、雑音除去する。なお、雑音除去は 4 連結の意味で孤立している黒画素を除去するものとした。

(3) 細線化処理 黒画素エッジ候補領域に対し Hilditch の手法⁽⁹⁾を用いて細線化することによって、会話による位置決めを目安を与え会話処理の速度の向上を図った。

(4) 必須線分の会話的抽出と距離計算 細線化によって得られた画像データを X-Window 上に表示し、距離計算に必要な画像外枠の 4 辺と水平線の合計 5 本の線分をマウスによるカーソル移動で決定する。位置指定および特に水平線を与えるエッジの雑音による誤差などを軽減する目的で、各線分当たり 6~10 点の座標データを指定した。このようにして得られた 5 本の線分の座標データを最小二乗法により直線近似し、それぞれの直線の式を求める。これら五つの式を用い、測距計算および視角計算に直接必要な点の座標値を求める。同様にして会話的に得た喫水線上の数点について、各点ごとに測距理論式に基づき距離計算を行い、平均値をもって距離の計算結果とした。

マウスポインタ方式では、微分画像を用いる必要性はないように思われるが、実際に原画像からマウスポインタを用いて水平線および喫水線の抽出を試みると、これらの正確な位置指定は予想以上に困難であることがわかる。この経験的な事実に基づいて、本方式においては会話型の位置指定の際に、計算機による支援を図り、微分画像を使用した。

4. 半自動海領域抽出方式

本システムのような応用を考えたとき、処理対象画像の構図が一定であるという前提をおくことができ、その画像より得ようとする情報も限定されている。このため、あらゆる構図の画像すべてに対して一般的に対応するための処理手続きを用いるよりも、前提により仮定することができる条件を積極的に利用したアルゴリズムを用いたほうが効率および精度の良い処理が可能になると考えられる。本方式での画像処理アルゴリズムはこのような立場にたって考案した。本研究で取り扱う処理対象画像の構図は空領域、船領域、海領域が垂直方向に画像上部から分布し、それから得ようとする情報は、測距理論式に inputs する水平線と喫水線と船首尾輪郭線が連続する曲線(以下、水平線喫水線

図 5 X 座標中央付近の垂直方向の濃度値
Fig.5. Gray level along a vertical line at center of image.

曲線という)の座標値である、というように前述の前提や処理考案のための条件を満足している。

ここで、極至近距離の他船を高い眼高で観測したときに船体全体が水平線下に埋没してしまい水平線と喫水線が不連続になることがあるが、その場合は観測点の眼高を下げればよく、本方式では水平線と喫水線は常に連続しているものと仮定する。更に、船の方向については後述する一定の条件すなわち喫水線がある長さ以上確保されている限り、測距に影響はないと考える。また、この方式は処理時間の短縮と処理アルゴリズムの単純化および夜間に得られる赤外線画像の処理をも可能にすることを目的とし、カラー実画像をモノクロ濃淡画像に変換して処理対象とする。

これまでの一般的な画像処理アルゴリズムは、エッジ検出→二値化処理→細線化の順序であるが、半自動海領域抽出方式の第1の特徴は、最初に二値化処理を行うことである。この二値化処理は帯域フィルタと同様の概念を用い、ある濃度値帯域に存在する画素のみを値1とし、その他の画素を値0とする方法である。具体的には、カラー原画像をモノクロ変換したモノクロ濃淡画像のX軸の中央付近の垂直方向の濃度値グラフ(図5に示す)をもとに、操作者が会話的に、水平線喫水線曲線付近の抽出を第一の目的とし、二つのしきい値を設定して海領域の切出しを行う。

第2の特徴は、海領域の抽出を目的として穴埋め処理を行い、この穴埋め処理画像に対して輪郭線を抽出することである。穴埋め処理とは、値1をもつ画素に囲まれた閉領域内に存在するすべての画素の値を1に変換することをいい、この処理により目的の領域の切出しが可能となる。また穴埋め処理した二値画像に対する輪郭線抽出は、エッジ処理と細線化処理を実施したのと同様の効果が得られる。エッジ処理および細線化処理が不用となれば、画像処理プロセスが少なくなり、処理時間の短縮を可能にする。それと同時に、原

図 6 入力画像の例
Fig.6. An input image.

図 7 水平線喫水線曲線画像の例
Fig.7. A processed image for horizon-waterline.

画像情報をより忠実に保存することを意味する。半自動海領域抽出方式のように画像上での微小な画素間距離を測定する場合、エッジ処理および細線化処理が不用であることは測定精度の向上に貢献するものと考えられる。

図6および図7は、それぞれ入力画像、水平線喫水線曲線抽出画像の出力例を示し、各処理は次の(1)から(6)の順序で行われる。

(1) 二値化 上述のように海領域の抽出を目的

とし、このモノクロ濃淡画像に対し、海領域の濃度値の下限と上限付近にしきい値を操作者が会話的に設定し、その帯域に濃度値が存在する画素の値を1、その他の画素の値を0として二値化する。ただし、この場合水平線喫水線曲線を明確に抽出することを二値化の最も重要な目的とする。

(2) 穴埋め 海領域以外の雑音の除去を目的に、海領域内の穴埋め処理を行う。これにより、海領域が画像全体中で最大の連続した黒画素領域となる。

(3) 雑音除去 海領域以外の領域、すなわち空領域と船領域の雑音を除去するために、海領域を構成する黒画素数をしきい値として、それ未満の孤立および連続した黒画素を除去する。

(4) 水平線喫水線曲線抽出 海領域の輪郭線を抽出する。そして、海領域輪郭線を構成する線分のうち、直線に近い線分を除去する。結果として海領域の底辺と両端縦線分が除去され、水平線喫水線曲線のみが抽出される。

(5) 水平線喫水線曲線の分離 水平線喫水線曲線を水平線構成画素と喫水線構成画素に分離するアルゴリズムは次のとおりである。

(i) 水平線喫水線曲線の両端点よりそれぞれ20画素を水平線を構成する画素候補とする。

(ii) 水平線構成画素候補のうち、両端点より画像中央に向かって探索し、5画素以上Y座標値が同じであれば、それらを仮の水平線構成画素とする。

(iii) 仮の水平線構成画素を用いて最小二乗法により仮の水平線の直線近似を行う。

(iv) この仮の水平線近似式と水平線喫水線構成画素との距離をそれぞれ計算し、その距離の値が3画素以下の画素を水平線構成画素とする。

(v) 画像の左・右半面(すなわち、船舶領域の左・右)に存在する水平線構成画素の両端よりY座標を固定しX軸に平行に画像中央方向に探索し、連続した10画素以上の欠落が生じたときその終点を水平線の中央寄りの端点とする。これら二つの端点の内側に存在する連続した画素を喫水線構成画素とする。

(6) 船舶間相対距離計算 水平線構成画素に対しては最小二乗法により直線近似を行い、喫水線構成画素に対しては、対象船舶が発生させた波による影響を受けやすい喫水線両端部をX座標における喫水線全長の1/5の長さだけを左右の端点よりそれぞれ除去する。そして、画像上の距離計算プログラムに水平線直線近似式と喫水線画素の座標値を入力し、各画素ごとに直線近似した水平線との距離を計算し、平均値を求め、測距理論式および視角法により船舶間相対距離

を算出する。

5. 測距結果とその評価

〈5・1〉 データの収集方法 スキャナ入力のための写真データ収集は1990年7月、ビデオカメラ入力のための画像データ収集は、1991年7月および1992年3月の神戸商船大学所属練習船「深江丸」の研究航海時に紀伊水道南方および播磨灘において、天候が晴れで水平線が地理的に確保されており、視程良好で静穏な海面状態の海域において行われ、本船の3軸方向の動揺は極めてわずかであり、眼高 h に影響を与える垂直方向の動揺は数cm程度と推測された。スキャナ入力のための写真データ収集では、航行中の自船の船橋ウィング上からの写真撮影とARPAレーダ測距データの記録を行った。一方、ビデオカメラ入力のための画像データ収集は、3管式ビデオカメラにより撮影を行い、この画像をオプティカルディスクレコーダを用いディスクにカラー画像ファイルとして保存する方法で実施した。両方の場合ともカメラは三脚で固定され、その設置高さは、海面上6.25mであったので、目標が水平線より手前に存在する相対距離が約5海里より近くで撮影を行った〔眼高6.25mの場合、水平線は(2)式より5.1海里〕。それらの結果、スキャナ入力の写真データとして148枚、ビデオカメラ入力の画像データとして275枚を収集した。表1にデータの収集に使用した機材を示す。

〈5・2〉 マウスポインタ方式の結果 図8は縦軸にマウスポインタ方式計算値を、横軸にARPAレーダ観測値をとって、148個のデータについてプロット

表1 実験使用機材一覧

Table 1. Equipments for experimental voyage.

(1) 練習船深江丸	
全長	49.95 m
型幅	10.00 m
総トン数	499 t
最大速力	14.28 ノット
(2) ARPA	
Xバンド (3cm波) 使用	
(3) 3管式ビデオカメラ	
(4) レンズ	$f=400.89\text{ mm}, 50.10\text{ mm}$
(5) オプティカルディスクレコーダ	
(6) パソコン	
(7) カメラ	ライカ版一眼レフ
(8) フィルム	ASA 400

図 8 マウスポインタ方式計算値
Fig. 8. Calculated values of mouse pointer ranging system.

図 10 測距誤差率
Fig. 10. Relative ranging error.

図 9 半自動海領域抽出方式計算値
Fig. 9. Calculated values of semiautomatic image ranging system.

したグラフである。

試作した本方式においては、1枚の画像に対する入力から計算結果出力までの平均処理時間は、各座標点の入力時間(約30秒)およびファイル転送時間などの処理時間を含めて約360秒であった。なお、マウスポインタ方式では正確な位置指定に多くの時間を要し、上記の平均値はこの方式に熟達してからの値であり、初期にはこの処理時間の数倍もの時間を必要とした。

〈5・3〉 半自動海領域抽出方式の結果 同様に、図9はARPAレーダ観測値に対する半自動海領域抽出方式の計算値を214のデータについてプロットしたグラフである。

第4章で述べた処理アルゴリズムにより、275枚の画像データの77.8%にあたる214枚が画像処理でき、船舶間相対距離を求めることができた。そして、処理時間は1枚の画像に対して約180秒であった。

半自動海領域抽出方式で船舶間相対距離を求めることができなかった画像は、船体の濃度値が海領域の濃度値と差がなかったものであり、これらに対してはカラー原画像を対象としてHLS変換法⁽¹⁰⁾などのアルゴリズムを用い、処理する必要があるものとする。

〈5・4〉 測距結果の評価 ARPAレーダ観測値には電波伝搬状態の変化などにより種々の誤差⁽⁴⁾が含まれるが、現時点では、極めてその精度が良好であり距離の真値に近いと考えられるので、画像より得た船舶間相対距離値の精度を評価するために、ARPAレーダ観測値を真値として使用した。

測距精度を考察するために、測距誤差および測距誤差率を次のように定義する。

測距誤差

$$= (\text{ARPAレーダ観測値}) - (\text{マウスポインタまたは半自動海領域抽出方式計算値})$$

測距誤差率

$$= (\text{測距誤差}) / (\text{ARPAレーダ観測値})$$

図8および図9とも、測定距離(ARPAレーダ観測値)が増大するに従って絶対誤差が増加している。このことは、測定距離が遠くなるに従って精度が低下するように考えられる。しかし、縦軸に測距誤差率を、横軸にARPAレーダ観測値をとってプロットした図10は、測距誤差率がARPAレーダ測定距離に関係なくほぼ一定のばらつきであることを示している。そしてマウスポインタ方式全データの測距誤差率絶対値百分率の平均は13.9%、半自動海領域抽出方式のそれは11.0%であった。なお、図9において、1海里以下の近距離の部分で全214点のうち2点だけ、かけ離れたデータがあるが、これは入力画像が不鮮明で、水平線の位置の判別が困難であったためである。これ

表 2 測距システム計算値の回帰分析結果

Table 2. Results of regression analysis.

観測距離 (海里)	マウスポインタ方式の回帰式	R^2	標本数
0.0~1.0 未満	$y=0.9339x-0.0215$	0.9351	45
0.0~2.0 未満	$y=0.9405x-0.0315$	0.9093	98
0.0~3.0 未満	$y=1.1042x-0.1683$	0.8740	131
全データ	$y=0.9536x+0.0216$	0.8546	148
観測距離 (海里)	半自動海領域抽出方式の回帰式	R^2	標本数
0.0~1.0 未満	$y=0.8604x+0.0626$	0.8245	62
0.0~2.0 未満	$y=1.0650x-0.0756$	0.9115	96
0.0~3.0 未満	$y=0.9873x-0.0180$	0.8714	187
全データ	$y=0.9379x+0.0417$	0.8417	214

ら図 8～図 10 より、測距精度を測距誤差率で評価することにすれば、測定距離には関係なくほぼ一定の範囲内にあるといえる。また、表 2 は ARPA レーダ観測値に対するマウスポインタ方式計算値および半自動海領域抽出方式計算値の回帰分析結果である。二つの相関係数 R の二乗値より、ARPA レーダ観測値とマウスポインタ方式計算値および半自動海領域抽出方式計算値は強い相関を示していると判断できる。また二つの回帰式は、 $y=x$ の式に極めて近い x の係数および y 切片の値を示している。

本システムの実用化への可能性を考えたとき、他船との距離を測定する目的は衝突回避であり、実際の乗船・航海経験から得られた航海士の一般的認識や海上での目測に関する研究⁽¹¹⁾、更に船舶の航行速度などから考えて、誤差が率にして 20%程度まで精度があれば十分であり、更に衝突回避のための測距では、誤差よりも誤差率が重要である。このことから船舶の避航などに使用目的を限定すれば、本システムの二つの方式の測距誤差はいずれも十分に小さく、実用上問題は無いと考えられる。

処理時間については、結果とともに述べたとおりマウスポインタ方式では各点のクリック、また半自動海領域抽出方式ではしきい値の絞り込みに習熟を要するため、いずれの方式においてもシステム全体の処理に要する時間は操作者の習熟度に依存する。測距システムとしての実用化のためには更に自動化を進めることが重要であろう。

6. む す び

本論文の特長を要約すると次のとおりである。

(1) 船舶間相対距離を画像より算出するための測距理論式を導出し、これを利用した実用化システムの構築のための枠組みを提案した。また画像上の任意の 2 点の観測点における角度を求める方法として、視角

計算法を提案した。

(2) 船舶間相対距離を算出する画像処理測距支援システムとして、マウスポインタ方式および半自動海領域抽出方式を作成した。

(3) マウスポインタ方式全データの測距誤差率絶対値百分率の平均は 13.9%、半自動海領域抽出方式のそれは 11.0%であった。この測距精度は、船舶の避航などの使用目的に限定すれば、水平線までの距離においては、その測距誤差は十分に小さく、実用上問題は無いと考えられる。

船舶の衝突回避に用途を限定した場合、絶対的な測距精度もさることながら、2 隻以上の他船についてどちらがより自船に近いのかという相対的な位置に関する情報が更に重要となる。従って、そのような相対的位置を判別できるような機能も、本システムに付加していく必要があると考えている。

本論文では、画像処理測距支援システムの実現に向けて、マウスポインタ方式および半自動海領域抽出方式を提案したが、現段階におけるシステムでは、画像処理のうち二値化の際のしきい値は操作者が判断し入力する必要がある。システムの自動化を更に進めるために、今後しきい値決定を自動化する手法を考案し、そのような枠組みを取り入れたシステムとして完成を目指したい。

日ごろ御指導いただく神戸商船大学 和氣博嗣教授に深甚なる謝意を表します。また、大阪大学大学院工学研究科博士課程 芦田昌也氏より、貴重なる御助言をいただきました。ここに深く感謝します。

(平成 5 年 4 月 26 日受付)

文 献

- (1) 運動性能研究委員会：船の運航自動化技術，p. 59 (平 3) 日本造船学会
- (2) 電子情報通信学会編：電子情報通信ハンドブック第 1 分冊，p. 1515 (昭 63) オーム社
- (3) 林・井手・佐治・石川・関根：「ミリ波レーダによる船舶の検出」，航海学論，84，131 (平 3-3)
- (4) 西谷芳雄：電波計器，p. 80；152 (平 3) 成山堂
- (5) T. Kitahasi, et al.: "Extraction of Vanishing Point and its Application to Scene Analysis", Proc. 5th ICPR (1980)
- (6) 岩永・樽美：天文航法 上巻，p. 117 (平 4) 成山堂
- (7) D. H. Ballard & C. M. Brown: COMPUTER VISION, p. 34 (1982) Prentice-Hall
- (8) R. O. Duda & P. E. Hart: PATTERN CLASSIFICATION AND SCENE ANALYSIS, p. 267 (1971) Wiley
- (9) C. J. Hilditch: "LINEAR SKELETON FROM SQUARE CUPBOARDS", Machine Intelligence, 6, 403 (1969) Edinburgh Univ. Press
- (10) 高木・下田(監修)：画像解析ハンドブック，p. 485 (平 3) 東京大学出版会
- (11) 長畑 司：「海上における遠近感と目視距離」，航海学論，66，47 (昭 57-2)

林 祐 司 (非会員)

昭和 28 年 5 月 23 日生。平成元年 3 月神戸商船大学大学院修士課程修了。同年 4 月同大学商船学部助手，平成 4 年 4 月同助教授，現在に至る。主として，船舶自動航行における人工知能システムの作成に関する研究に従事。日本航海学会，英国航海学会，海洋調査技術学会，IEEE 会員。

若 林 伸 和 (正員)

昭和 40 年 3 月 30 日生。平成元年 3 月電気通信大学大学院修士課程修了。4 年 3 月大阪大学大学院工学研究科博士課程単位修得退学。同年 4 月電気通信大学大

学院情報システム学研究科助手，現在に至る。主として，産業応用システムおよび人工知能システムの作成に関する研究に従事。情報処理学会，人工知能学会，日本航海学会，電子情報通信学会，IEEE 会員。

北 橋 忠 宏 (非会員)

昭和 14 年 1 月 23 日。43 年大阪大学大学院博士課程修了。同年同大学基礎工学部助手。53 年豊橋技術科学大学助教授，同教授。61 年大阪大学産業科学研究所教授，現在に至る。人工知能，特に物体認識に関する研究に従事。工学博士。電子情報通信学会，情報処理学会，人工知能学会，IEEE，計量国語学会，日本航海学会会員。