

海上監視支援システムに関する研究

桐谷 伸夫*、松倉 洋史*、山本 憲夫**、山田 公男**

Study of System for Automatic Surveillance Aid on Maritime Search and Rescue

by

Nobuo KIRIYA, Hiroshi MATSUKURA, Norio YAMAMOTO
and Kimio YAMADA

Abstract

When a sea disaster happens and some people are lost, surveillance for SEARCH and RESCUE is usually executed by airplanes. It is very effective means to accomplish it widely and quickly, but is not easy to find small floating targets like a life raft on the sea by operator's watch and radar observation from airplane.

One of the difficulties for radar observation is that life raft is almost non-conductive and is easy to disappear in the sea clutter. Other difficulties for operator's watch are the restriction of visibility from weather condition and diffused reflection by the sunlight. In addition, human SAR operator cannot escape from fatigue and boredom although those who engage the operations have high sense of mission and excellent faculty.

To resolve above problems, Ship Research Institute (SRI) has conducted a research project to develop "Airborne Floating Target Detection System on Maritime Search and Rescue" with Electric Navigation Research Institute (ENRI). The system is equipped besides the conventional system. It observes sea surface continuously with VR and IR camera and detects floating targets automatically. When it detects a target, it gives a caution and target information to the SAR operator.

* システム技術部 ** 電子航法研究所

原稿受付 平成13年11月14日

審査済 平成14年1月16日

This research was implemented through four stages. The first step is development of target abstraction and recognition methods from plural image sensor information. The second is development and evaluation of real-time experiment system that is small and light enough for an airplane to be installed. The third is design and production of effective human interface that uses multimedia information. The fourth is implementation of demonstration experiment of detecting a small floating life raft on the sea.

Through these procedures, the prototype system was constructed and it demonstrated necessary functions and performance successfully. The proposed system is thought to be able to reduce SAR operator's burden and improve search results.

目 次

1. 緒言	2
2. 我が国における海上捜索体制と 海上監視支援システム	3
3. 海上監視支援システムの開発と機能概要	3
3. 1. 画像観測センサの概要	3
3. 2. 情報処理装置と機能の概要	4
3. 2. 1. 動作と処理の手順	4
3. 2. 2. 目標物探索アルゴリズム	5
3. 2. 3. 支援機能の実現とヒューマン・ インターフェースの試作	7
4. 漂流救命いかだ観測実験の実施	8
4. 1. 航空機搭載型実験システムの概要	8
4. 2. 海上実験の概要	9
4. 3. 海面画像情報の特性と基本画像処理技術	10
5. 海上観測実験の結果と実験システムの動作評価	11
5. 1. 観測画像と探索アルゴリズムの動作結果	11
5. 2. 紅炎信号使用に対する 探索アルゴリズムの動作結果	12
6. 結言	12
謝辞	13
参考文献	13

1. 緒言

海難事故等の発生により乗組員が船外退避を余儀なくされた場合、通常は装備された膨張式救命いかだ等によって海上を漂流することになり、現在の GMDSS 体制に基づく捜索救難活動により救助されることになる。このようにして漂流する救命いかだに対する海上捜索の有効な初動手段としては、航空機による捜索が主となる。すなわち、航空機を用いると広い海域に対して迅速かつ効率的に捜索を実施することができからである。しかしながら、現実には海上を漂流する小型の救命いかだを捜索する場合、搭乗観測員の目視やレーダ観測によって、救命いかだのような小型で非導電性の目標物を

発見することは決して容易なことではない。例えば、目視観測に対しては気象条件による視程の制限や海面の太陽光反射などが発見を妨げる要因として存在し、レーダ観測に対してはシークラッター等が障害となる。捜索業務の第一線にある観測員の能力や使命感が非常に高いことは言うまでもないが、「好条件下においても、平均的な見張り員が良好な見張りを維持できるのは、約 2 時間である。(IMO 捜索救助便覧)」とあるように、観測員には人間としての生理的限界があることも事実である。そこで、このような生理的限界に制限されることのない、また現状の観測体制に加えて更に捜索救助の信頼性を高めるような、新たな海上監視・捜索のためのシステム開発とその導入が求められている。換言するならば、本開発研究において目的としたものは、航空機からのリモートセンシングによる海上浮遊物探索と観測者の作業支援を実現する「海上監視支援システム」である。

これまで海上監視を目的とした装置は主に非民生品として開発が進められていたが、近年では海上捜索用の様々なセンサや装置が民間利用を目的として提案されている。このような背景のもとにレーダ以外のセンシング装置を用いて海上を観測する機器の調査・研究が行われ、特に小型航空機への搭載が可能な可搬型合成開口レーダの有効性などが確認された。このように現状の海上監視装置は、センサ技術を主とした開発が行われており、コンピュータの著しい発展やリモートセンシング技術の進歩に対応した小型軽量で高機能なセンサの出現、また複数のセンサの利用や効果的な情報提供を実行するヒューマン・インターフェースの導入などシステム化に対する検討・評価は充分に行われていない。そこで、電子航法研究所との共同研究として「海上監視支援システムの開発研究」^{2),3),4),5)}を以下の 4 段階の項目を研究の目標として開始し、最終的には実用を視野においた海上監視・捜索業務支援のためのシステム開発と評価を実施した。

- (1) 複数の画像センサ情報からの目標物抽出と認識のアルゴリズム開発
- (2) 航空機搭載が可能な小型軽量で、リアルタイム処理を実現する実験システムの構築と機能評価
- (3) マルチメディアを利用した効率的なヒューマン・インターフェースの設計と構築

(4) 実海域に漂流する小型救命いかだを観測する実証実験の実施

なお、本研究は「海上監視支援システムの開発に関する調査研究委員会」の指導のもとに実施されたものである。

2. 我が国における海上搜索体制と 海上監視支援システム

我が国は、国際条約である SAR 条約(International Convention on Maritime Search and Rescue, 1979)への加入を昭和 60 年 6 月に果たして以来、船位通報制度の導入など、救難救命活動が迅速に行えるような国内制度の確立に努めており、周辺海域における適切な搜索救助活動が実施されている。国際条約としての SAR 条約の骨子は、条約締結国における以下の項目等を示したものである。

- ① 海上遭難者に対する援助義務
- ② 搜索救助業務に関わる調整本部等の設置
- ③ 近隣国間の搜索救助に関する調整
- ④ 船位通報制度の確立

我が国は、近隣諸国との SAR 協定締結等により国際的な協力体制構築にも寄与しており、世界規模の搜索救助体制確立に貢献している。また、海難事故が発生した場合、遭難情報を的確に送受信するための衛星通信技術やデジタル通信技術等を導入したシステムの利用を制定した「海上における人命の安全のための国際条約」・74 SOLAS 条約改正に伴い、GMDSS(Global Maritime Distress and Safety System)の導入が平成 4 年 2 月より段階的に開始され、平成 11 年 2 月に移行を完了した。このような世界的搜索救助体制の背景のもとに海上保安庁では、GMDSS 対応として衛星 EPIRB(非常用位置指示無線標識)からの遭難情報を入手する COSPAS/SARSAT システムの地上施設の 24 時間運用を行っている。

GMDSS への完全移行により、遭難者が確実に遭難警報の発信と遭難位置標定が可能な衛星 EPIRB を利用した場合には、救難救命の可能性の飛躍的な向上が期待できるが、海難事故発生時に衛星 EPIRB などの機材が有効に機能しない状況も考えられる。このような GMDSS が稼働しない状況においても、救難救命活動は迅速かつ効果的に行われなければならないことは言うまでもない。従って単一の装置としても、あるいは GMDSS との同時併用によっても、海上搜索支援の実行において更に信頼性を高めるシステムの開発が求められている。

海上監視支援システムの基本要件は、自動的また自律的に海上の監視・搜索を実行する機能の実現であるが、決して搜索業務の完全機械化を目指したシステムではない。生理的な

限界があることを前提条件としても観測員が機械と異なる次元において優れた能力を発揮する事実からも、より高いレベルのヒューマン・インターフェースを与えることによって、このシステムと経験や固有の判断能力を有する観測員とを緊密に結び付けることが重要である。すなわち、人間との相補的な協調作業によって機能するシステムが目的とするものである。また、このようなシステムの動作は海上情報の収集であることから、時々刻々の観測情報を位置情報と共に集積、整理、評価することであり、こうした情報を基に搜索戦略の決定などの高位判断の支援を行うことも可能である。このため、ある時間断面における対象海域の情報を集約すると同時に、これらを一元管理して加工・出力するエンジン機能を付加することが実現できれば、陸上における地理情報システム (Geographic Information System : GIS) ⁶⁾に対応するような海洋情報システム (Maritime Information System : MIS) を構築することが可能となる。このシステムでは、データベースにおける地図要素には海図などの関連図誌が対応し、非地図要素には気象・海象情報や漂流物を含めた海上交通状況などが対応する。しかしながら、本来は地図要素の量的・質的特性を表す属性情報である非地図情報が時間的に可変であることから、解析エンジン機能には時間的なシミュレーション機能の装備が必須となる。また、入出力機能として優れたヒューマン・インターフェースを具備することも重要な要件であると考えられる。

3. 海上監視支援システムの開発と機能概要

3. 1. 画像観測センサの概要

海上監視支援システムの基本コンセプトは、航空機リモートセンシングによる海上浮遊物探索と観測者の作業支援を自動的・自律的に実現することにある。この目的達成までの手順を機能として整理するならば、以下の通りである。

- (1) 情報の高度収集機能の実現
- (2) 高速な情報の加工処理、判断機能の実現
- (3) 監視及び搜索支援に有効な情報出力機能の実現

ここで、情報の入出力系に注目して整理するならば、海上監視支援システムの概念は図-1 に示したものとなる。すなわち、システムに対する入力情報とは、気象・海象などの環境情報と GPS 装置による緯度経度や飛行高度などの位置情報、そして各種センサにより観測される海面情報に大別される。システム構築における基本要件のひとつとして、複数センサによる観測の実施があることから、図中に示したような各種観測センサ類が主な検討対象となる。

また、システム動作のリアルタイム性や航空機への搭載が前提条件となり、その現実性の立場からも使用センサを取捨

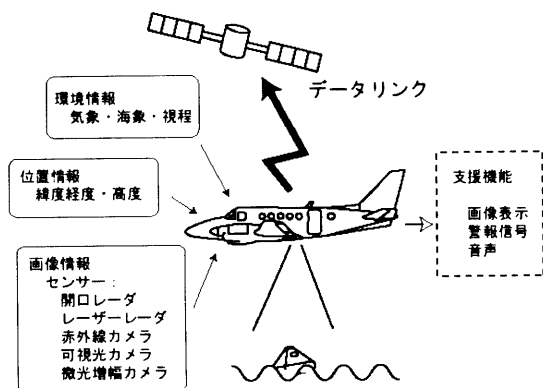


図-1 海上監視支援システム概念図

する必要がある。特に画像センサはリアルタイムで膨大な画像情報を出力することから、海上監視機能の実現に有効で効率的な情報を得ることを目的として、撮像特性を十分に考慮して選択することが重要と考えられる。

採用した画像センサは可視光 RGB カメラと赤外線カメラの2種であり、それぞれの基本性能仕様を表-1に示した。一般的にリモートセンシングにおける画像センサは、レーダのようにセンサ自らが信号を発してその反射を観測するアクティブなセンサと光学系のパッシブなセンサに分類⁷⁾される。例えば、マイクロ波を利用するアクティブなセンサは、当然のことながら昼夜や気象などによる視程の制限を受けることが無く、非常に有効なセンサであるが、高価なものである点や分解能などに問題がある。一方、パッシブな光学系センサは視程などの制限を受ける点に短所を持つが、可視光域画像センサでは高い分解能や色情報を得られる事や取り扱いが容易である事などの長所を持つ。しかし、当然のことながら昼間の使用に限定される。赤外線ビデオカメラは、赤外線域において目標物の熱放射を感知^{8,9)}するものであることから、昼夜間を問わず使用することが可能であり、波長域によっては霧や霏などの大気条件によらず画像情報を得ることが可能

表-1 画像センサの基本性能

画像センサ	基本性能
RGB ビデオカメラ (Sony DXC-950)	撮像素子: 2/1 インチインターライン型 CCD * 3 有効画素数: 768(H) * 494(V) 撮像面積: 6.4 * 4.8mm 信号方式: NTSC 方式 同期方式: 内部同期 / 外部同期 (VBS, BS) 自動切換 走査方式: 525 本、2 : 1 インターレース 走査周波数: 水平 15.734Hz、垂直 59.94Hz 水平解像度: 750TV 本 感度: 2000 lx (F9.5、3200K) 最低被写体照度: 5 lx (F1.4、+18dB にて) 映像 S/N: 60dB
赤外線 ビデオカメラ (Mitsubishi IR-M700)	検出器: PtSi ショットキバリア 電荷転送方式: 水平 CCD、垂直 CSD 総画素数: 水平 801 * 垂直 512 表示画素数: 水平 756 * 垂直 485 検出波長帯: 1.2 ~ 5.9 μ m 検出器温度: 77 K 冷却方式: スターリングサイクルクーラ 雑音等価温度差: 0.08 °C 以下 (27 °C、標準レンズ) 映像出力: RS-170 白黒

である。構築したシステムでは、色情報と低光度環境での赤外線情報の利用の2つの目的から、これらの画像センサを採用した。

海上監視支援システムは図-1に示したように、GPS 情報など種々の情報の取り込みと利用を考えたものではあるが、入力情報の中核は画像情報であるので、このシステムでは複数の画像センサを利用した入力画像情報のマルチチャンネル化を図ったことが大きな特徴のひとつである。また出力情報としては、目標物搜索作業の支援を目的としたマルチメディア情報による観測員に対する観測結果の提示を考えている。情報処理の動作においてシステムのリアルタイム性は不可欠な要素であるが、同時に得られた情報を整理して正しく迅速かつ効率的に伝えるための優れたヒューマン・インターフェースの導入も必須の要素と考えられる。現在は、情報伝達の手段として画像表示や警報信号、そして音声指示を採用しているが、更に観測員の問い合わせに応ずるようなインタラクティブな動作機能の装備を検討している。

3. 2. 情報処理装置と機能の概要

3. 2. 1. 動作と処理の手順

情報処理を実行するコンピュータにおける処理作業のフローを図-2に示し、処理のタイミングチャートを図-3に示した。情報処理系の機能は図-2に示したように2つのプロセスに大別される。すなわち、画像センサによって計測された画像情報を処理する探索プロセスと画像情報の処理結果や計測された位置情報などを基にして観測者に対しての支援を実現する支援プロセスである。現実には、それぞれのプロセスは主副2台のコンピュータによって並列に実施されており、通信によってリンクされて起動するものである。そのタイム

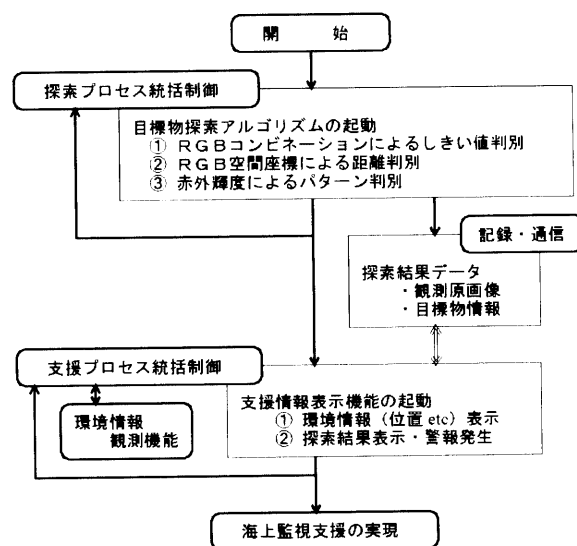


図-2 データ処理の流れ

ングチャートを図-3に示した。このように主PCは1秒間隔で連続して画像の取り込みとデジタル記録、そして後述する画像処理を実行する。画像処理の結果、目標物を発見した場合には副PCに発見の通知を行うが、同時に可視光RGB 3チャンネルと赤外モノクロ1チャンネルからなる目標物の4チャンネル画像情報も付加した通信を実施するものである。副PCは、この通信を受けて発見目標物の画像表示や警報発生、音声指示を実行する。さらに通常はGPS位置情報と飛行経路のプロットングを連続実行し、観測者の支援を実行する。ここで、採用したシステムの方式は膨大なデータ処理とならざるを得ない画像解析の作業時間を考慮した結果であるが、CPUの性能が日々向上して2GHzのクロックタイムが実現されている現在では、シングル・プロセスとして高速に起動するシステムへの移行も充分に可能であると考えられる。

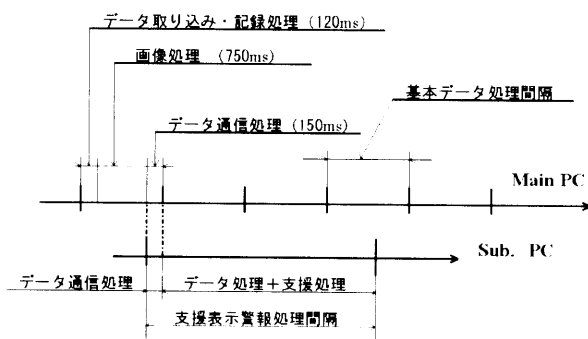


図-3 タイミングチャート

3. 2. 2. 目標物探索アルゴリズム

システムの機能として最も重要となる目標物探索の処理は、基本観測間隔毎に取り込まれた画像に対して複数の探索アルゴリズムが起動することによって実施される。図-2に示したように現在は3つの探索アルゴリズムが用意されており、それぞれのアルゴリズムの概要を以下に示す。

(1) RGBコンビネーションによるしきい値判別

しきい値処理¹⁰⁾は、一義的には画素単位の輝度レベルを手がかりとして分類を行う手法であり、簡便で高速処理が可能な点に長所がある。ここで採用した目標物判別アルゴリズムでは、探索目標である救命いかだ(ラフト)が法定色の特徴的な橙色であることに着目して、しきい値を決定した。

図-4と図-5は、可視光RGBカメラによって観測された海面とラフト天幕の輝度別累積画素数をRGB別に示したものである。それぞれの図において、RGB個々の分布形はピークが明らかで大きく分離したものとなっていることから、単一色要素によって占められている特性を持つことが推測される。特に、法定色に彩色されたラフト天幕はR要素の輝度が特異的に高く、海面に比較して特徴的な反射傾向を示すこ

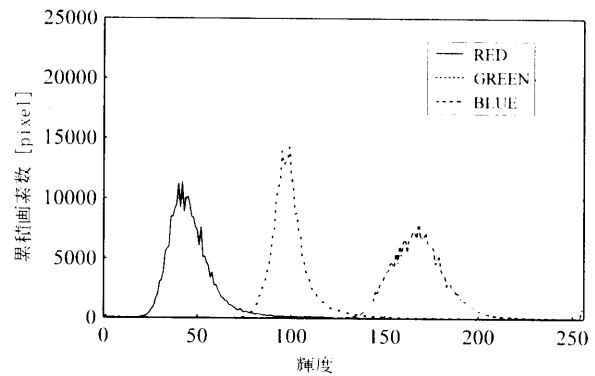


図-4 海面のRGB別輝度別累積画素数

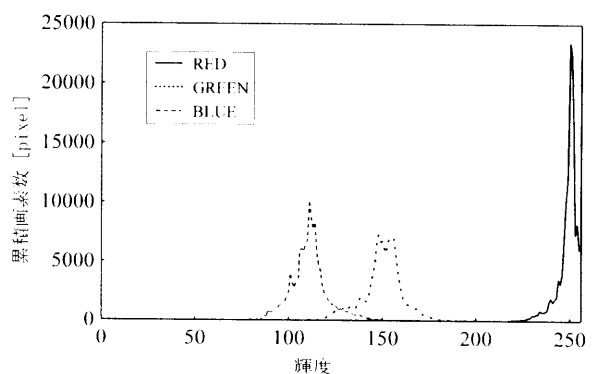


図-5 ラフト天幕のRGB別輝度別累積画素数

とが明確であることから、RGBそれぞれの混合比に注目したしきい値処理により、目標物の抽出と分離が可能となるものである。このRGBコンビネーションによるしきい値(t)の決定法を以下に示す。

$$\text{救命いかだ (ラフト)}; \quad 2 * \text{Fred} / (\text{Fgreen} + \text{Fblue}) \geq t$$

Fred : 画素の赤色輝度
Fgreen : 画素の緑色輝度
Fblue : 画素の青色輝度

このRGBコンビネーションによる指標値は、色特性を無次元値として評価している点に意味を持つものであり、定性的には $t=1$ でモノクロ要素を示し、 $t<1$ では緑・青混合色の輝度感度、 $t>1$ では赤色輝度感度を示すものである。

(2) RGB空間座標による距離判別

収集された海面画像は多数の画素から構成され、それぞれの画素は画素の位置とRGB輝度値を持つことから、それぞれの画素をRed-Green-Blue輝度による直行座標系における3次元散布図として表現することが可能である。そこで、海面画像を構成する代表的な要素である「海」、「白波」及び「ラフト」を代表する画素をサンプリングして図-6に散布

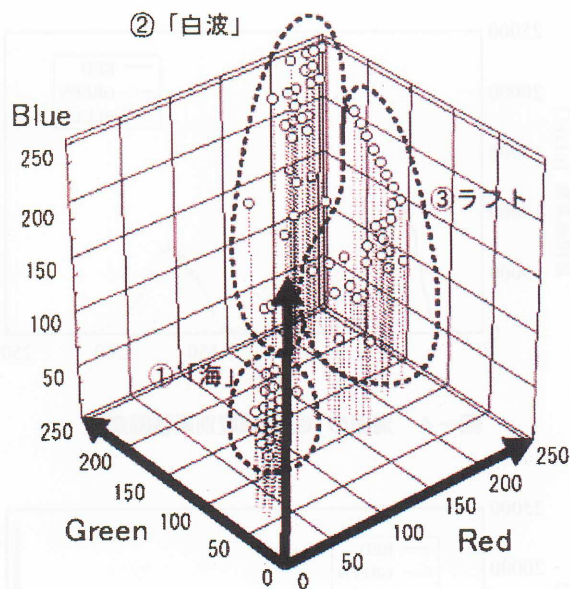


図-6 海面構成画素のRGB別輝度3次元散布図

図として示した。

海面要素の画素は、図中①で示される。これらは赤色感度の低い緑・青色混合色の反射傾向を示す位置に比較的固まって存在する。白波要素の画素は図中②のように分布している。すなわち、白波の中心部は最高輝度点（Red = 255、Green = 255、Blue = 255）近傍に分布する。しかし、画素が白波の中心部から離れるに従い、白波は次第に海へと変化していくために一部が①の方向へ遷移することとなる。また、救命いかだの画素は図中③のように分布している。中心部は赤色感度の強い混合色の傾向を示しているが、画素が中心部から離れるに従い、周囲を囲む海もしくは白波の傾向を示すように変化していく。このために一部が①もしくは②の方向へ遷移することとなる。なお、白波と異なり、救命いかだとその周囲とは明確に区別できるはずであるが、撮像システムの解像度の限界等から画像上の色変化は段階的なものとなっている。

以上から海要素と白波要素を統合してRGB散布空間でモデル化して表現したものが図-7である。図中で①～③はそれぞれ「海」「白波」「ラフト」の平均輝度を示す。「海」と「白波」画素は、原点と最高輝度点、および海要素の平均輝度値を通過して形成される三角形（これを「海面三角形」と呼ぶ）に対して空間的近傍に分布すると考えられる。換言するならば、海面画素の反射性状は太陽光の状況や海象および観測センサの性能などに左右されて変化するが、その変化は海面三角形内、あるいはその近傍に限定されたものである。これを「海面画像の遷移モデル」と定義した。この遷移モデルによる判別法は、探索目標物が海面画像と異なる反射傾向を持つ画素により構成されていることに基づくものである。すなわち、海面画素は海面三角形上か空間的近傍に存在することから、この海面三角形と各画素との最短空間距離を求めて「海面らしくない程度」を評価する指標値とした。

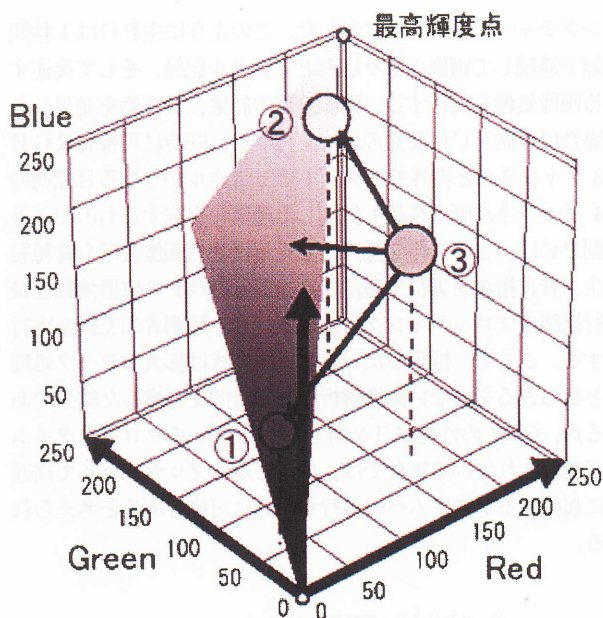


図-7 海面三角形の概念

指標値には、図-8において海面三角形に垂直で、原点と最高輝度点を結ぶ対角線を含む平面を考え、この基準平面AよりRGB散布図に向かって右側の空間に含まれる画素に対しては、原点と最高輝度点を結ぶ対角線と当該画素との距離①を採用した。

また、基準平面Aより向かって左側の空間に含まれる画素に対しては、海面三角形と当該画素との距離②を指標値とした。

この探索アルゴリズムのフローチャートを図-9に示す。まず、海面画像を取得した後、海面の平均輝度を計算する。それにより得られた点と原点および最高輝度点を通る海面三角形を計算し、最後に海面画像の全画素について、海面三角

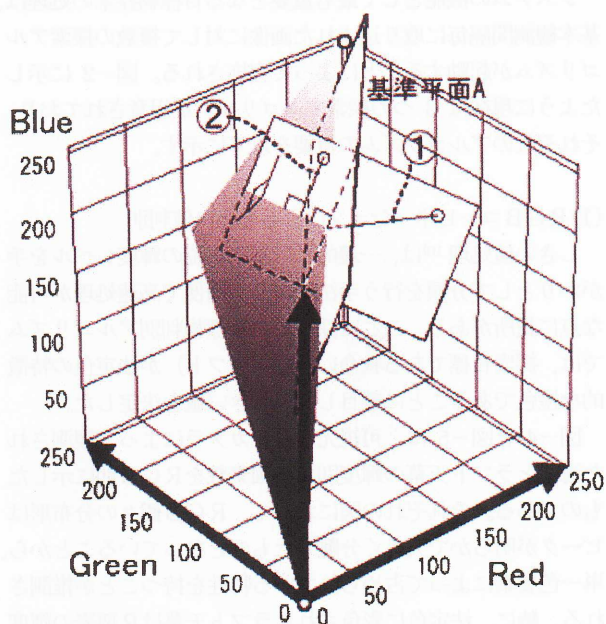


図-8 海面三角形と指標値の決定法

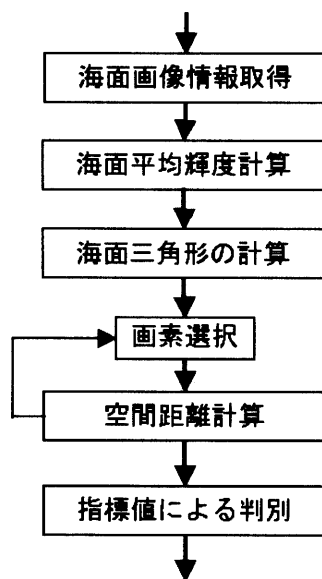


図-9 探索アルゴリズムのフローチャート

形からの空間距離を計算して1サイクルの計算を終えるものである。RGB空間座標による距離判別による探索アルゴリズムは、搜索条件の影響による輝度遷移を考慮に入れているため、また画像を取得する都度、海面三角形を動的に設定し直すために気象・海象条件が変化しても対応することが可能になっている。

(3) 赤外線輝度によるパターン判別

赤外線画像は可視光RGB画像と異なり、基本的に1チャンネルのモノクロ画像であるため昼間観測においては太陽光反射などの雑音影響を大きく受けることが、予備実験から明らかとなった。しかし、同時に紅炎信号の使用によってはラフト天幕全体が特徴的に強い輝度を示すという知見を得たこ

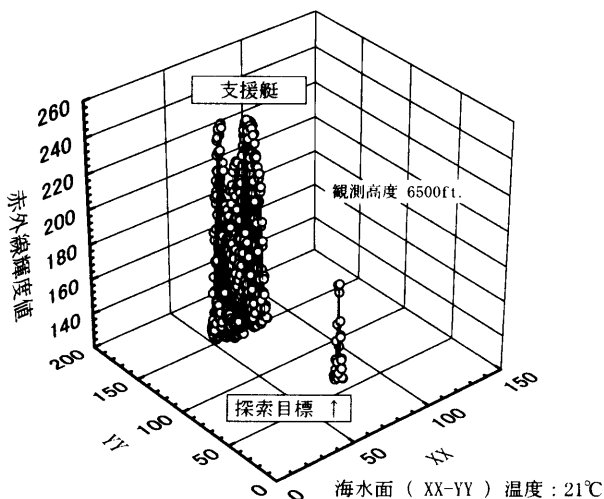


図-10 海面画像の赤外線情報

とから、パターンマッチング技法の利用を考えたものである。このアルゴリズムは、最高輝度から段階的にしきい値処理した画像に対して、飛行高度から推定した目標物の画面上の形状との整合を検証するものである。図-10に海上実験で観測された赤外線輝度の3次元表示を示した。

3. 2. 3. 支援機能の実現とヒューマン・インターフェースの試作

海上監視支援システムは外部から様々なデータを取り入れ、それら进行处理することで搜索機搭乗観測員に警報・音声・画像・文字等による支援情報を提供することから、システムと人間との接点であるヒューマン・マシンインターフェースの使い勝手によっては搜索効率は大きく左右されるものと考えられる。そこで、システムの表示・警報方式及びその操作に注目してどのようなインターフェースが適切なのかについて検討を行い、搜索効率を向上させるために必要とされる表示・警報システムの要件を求めた。また検討結果に従ってインターフェースを試作し、機能評価試験を通じてその評価を行った。

データ表示・警報システムに求められる要件を得るため、使用される環境・利用可能な情報の種類・システムの役割・搜索員に伝達すべき情報等について順次検討を行った。その結果、本システムに対して特に求められる要件を整理して以下に示す。

- (1) 基本的な画面構成はなるべく少なくし、階層構造をあまり深くとらないこと。
- (2) 取得した各種データの内容と、搜索アルゴリズムの処理結果が分かりやすく表示されること。
- (3) システムが正常に働いているか、フリーズしていないかは一瞥して把握できること。
- (4) 搜索アルゴリズムの処理結果は直感的に理解できる形で表示されること。
- (5) 必要に応じて搜索アルゴリズムの処理結果等の詳しい情報も取得できるようにすること。
- (5) 操作はなるべく少ないステップで行えるようにし、操作が確実に実行されたことを伝えるフィードバックを持つこと。
- (6) 特定の機能の終了など重要なものに関しては確認のステップを取り入れること。

上記を基本方針とし、実際にインターフェースを試作する際には以下の項目に留意した。

- (1) 警報音は複雑な内容を伝えることが難しいが、音の性質を変えることで騒音下でもある程度遠距離まで伝達することが可能である。それに対して、音声（録音・合成を問わず言葉による伝達）は騒音下で遠距離まで

伝達することは難しいが、複雑な内容を伝達することが可能である。そこで、ラフトの候補を発見した旨をまず警報音で伝え、捜索員の注意を喚起した上で音声によって探索アルゴリズムのより詳しい処理結果を通知するという方式を用いた。

- (2) ポインティングデバイスは、機内の振動や加速度の頻繁な変化に対処するためにトラックボールを用いた。
- (3) 表示部分には光よけのフードを装着すると共に表示画面の輝度と色相のコントラストを強くすることで強い入射光に対しても表示が見にくくならないようにした。
- (4) プロットエリアの表示方法には、Head Up 方式と North Up 方式が考えられるが、今回は North Up 方式を採用した。
- (5) 少ないアクションで必要な操作を行えるように、基本的な操作画面は3層構造とし、階層が深くないようにした。必要な操作は主表示画面から始められるようにした。また、常に読みとるべき主要なパラメータも主表示画面に集中して配置した。
- (6) 日時・緯度経度・飛行経路プロットが正常に更新されることで、また、捜索中は捜索中である旨点滅表示されることでシステムが正常に動いていることを確認することができるようにした。
- (7) 飛行経路のルートプロット画面をパイロットと共有することで、飛行経路の指示等、意志疎通を円滑に行うことができるようにした。
- (8) 確認済みのラフトの候補に対してはプロットエリア上の赤丸をチェックし青丸に変えておくこととした。これにより、万一警報を聞き逃した場合でも青丸になっていない地点まで戻って確認することで捜索の漏れを防ぐことができる。

以上の検討にもとづいて試作した海上監視支援システムの機能評価実験用インターフェースを図-11に示す。機能評価試験では、探索アルゴリズムの評価と共に画面表示やデータ入出力警報、音声による処理結果の伝達など、操作性に関す

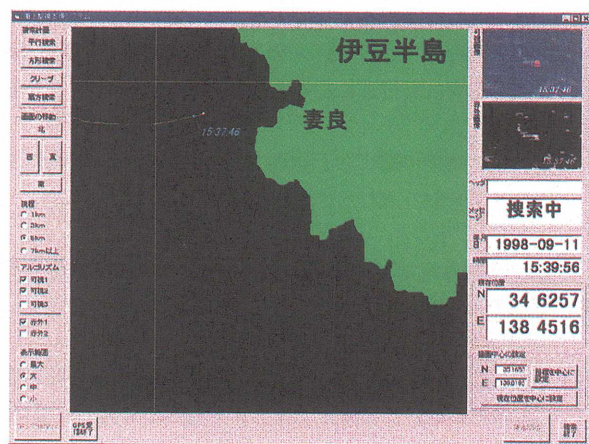


図-11 情報表示画面

る評価も行った。その結果、主観評価ではあるが全体として本システムの操作性は良好であった。判明した改良すべき点には基本的な設計内容の変更を要する点はなかったことから、設計方針はほぼ適切であったといえる。操作性評価の結果判明した改良すべき点を整理して以下に示す。

- (1) トラックボールの操作性は良好であった。しかし、ポインタの設定として OS の標準設定を用いたところ、操作中にポインタを見失うことがあった。より視認が容易なものを採用することが必要である。
- (2) 飛行中に多数桁の数値をキーボードで入力するのは効率が悪く、タッチミスなどの間違いを誘発する恐れがある。対応策として、マウスポインタを用いて一覧から選択入力出来るようにするなど、より簡便で確実な方法を用いるべきである。
- (3) データの入力中に機体の動揺などにより、意図しない所に値が入力されてしまうことがあった。頻繁に変更する必要のない入力項目にはロック機構を備えることが必要である。

以上により、海上監視支援システムの表示・警報方式に関してどのようなインターフェースが適切なのかについて検討を行い、必要とされる要件を求めた。また、その検討結果に従ってインターフェースを試作し、機能評価試験を通じてその評価を行った。その結果、全体として操作性は良好であり、表示・警報システムに求められる機能の検討内容およびそれらに対応した表示・警報システムが構築された。

4. 漂流救命いかだ観測実験の実施

4. 1. 航空機搭載型実験システムの概要

実海域に漂流させた救命いかだ(ラフト)の観測実験で使った海上監視支援システムのプロトタイプ・モデルの構成を図-12に、機内での搭載状況を図-13に示す。なお、実験に使用した機体は電子航法研究所所有の実験機(B-99)である。

前述したように実験システムにおいて、入力情報の中核となるものは可視光画像情報と赤外線画像情報である。そして図-12に示したそれぞれの画像センサは、実験機床部に鉛直に取り付けられ機体直下の海面を観測する。観測された可視光及び赤外線画像は主 PC によって取り込まれると同時にビデオレコーダに連続記録される。その後、主 PC に取り込まれた画像情報は目標物探索アルゴリズムによって記録・処理され、目標物を捉えた場合には副 PC にその情報が伝達される。副 PC は、通常は飛行経路のプロットや地図情報等の表示を実行しているが、主 PC からの目標物探索結果通報に呼応して、情報表示や警報発生、さらには音声指示に

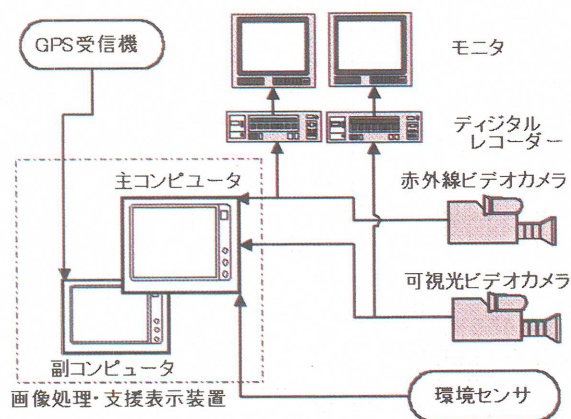


図-12 実験システムの構成

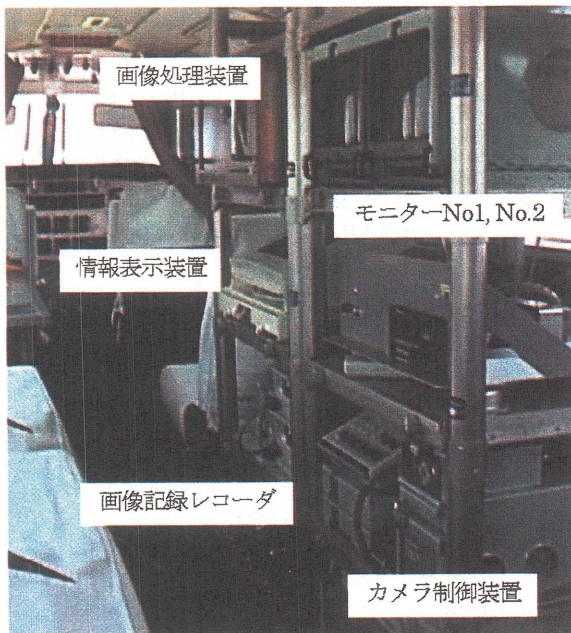


図-13 実験システムの搭載状況

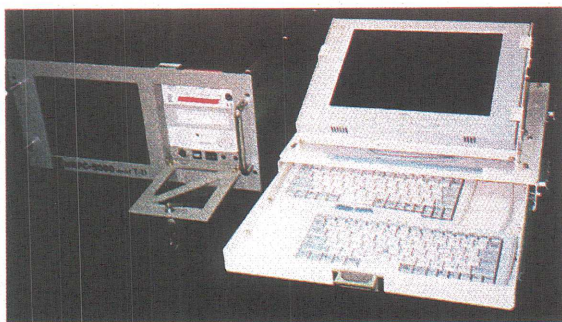


図-14 情報処理・支援表示装置の外観

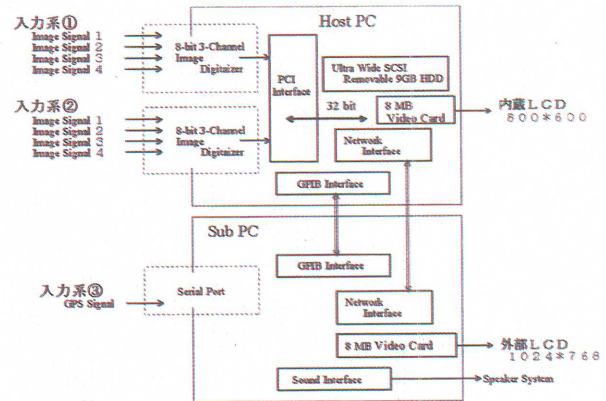


図-15 システムブロック図

より、目標を捉えたことを知らせる。図-13に示したように、システムは分割させて実験機内の架台に固定されており、特に画像処理と支援表示装置である主、副両PCはひとつの筐体に2つのシングルボード・コンピュータとして配置構成することによって小型軽量化が実現されている。その外観を図-14に示し、ブロック図を図-15に示した。なお、海上監視支援システムを構成する全ての機器は法令に基づく耐空検査に合格したものである。

4. 2. 海上実験の概要

海上監視支援システムの海上実験^{11),12),13)}は、実海域に船舶装備品である膨張式救命いかだ（ラフト、TRA-6A：6名定員）を漂流させ、実験機により上空より探索を模擬する方式で実施した。実際には図-16に示したように、実験支援艇（海上保安庁巡視艇はやぎり）より展開したラフトを係止して、上空より計測する。実験条件としては、飛行高度（3500、5000、6500[ft]）や太陽反射との位置関係、そしてラフト乗艇漂流者による紅炎信号の使用などを設定して実施した。実験の計測効率を高めるために、ラフトの漂流位置は常に実験機に無



図-16 実験支援艇における実験実施状況

線通報されており、実験機は通報位置を目標として上空への進入を図ることによって、画像センサの画角内に捉えるべく飛行を実施した。なお、飛行高度に比較して目標であるラフトが非常に小さく（直径約 2.5m、高さ約 1.4m）、直上を通過してカメラの画角内に捉えることが困難であったため、前述のように GPS 測位を用いた通信による位置合わせを行うと同時に、別途設置した前下方監視用のカメラによる進入経路や姿勢の修正を行って海上観測実験を実施した。

4. 3. 海面画像情報の特性と基本画像処理技術

海上実験において可視光と赤外線画像センサによって観測された画像例を図-17 及び図-18 に示す。なお、この時の飛行高度は 3500[ft]である。観測時の天候は晴れであったが、風浪が強く海表面に立った白波による反射が強く、雑音要素の多い画像となっている。昼間観測であり、視程が十分に確保されていたことから支援艇位置を手がかりとして目標を視認することは容易であったが、画像情報として考えるならば白波や太陽光反射による雑音要素が非常に多い画像となっていることから、目標物の抽出・認識には雑音処理に対する多くの検討を要することが明らかとなった。

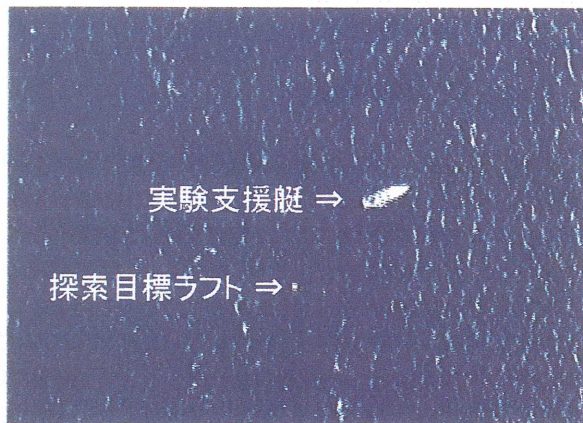


図-17 可視光海面画像

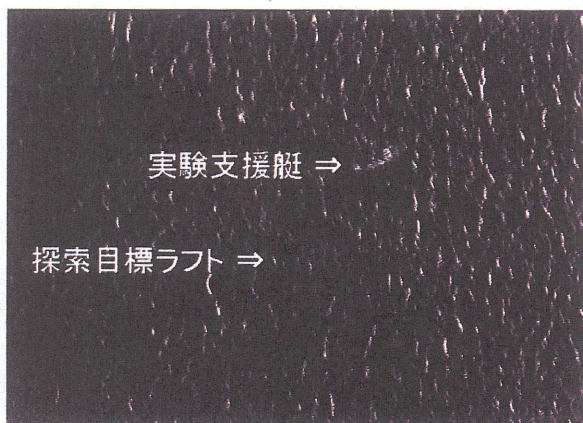


図-18 赤外線海面画像

実験システムの画像センサによって得られる情報は、可視光 RGB データと赤外線モノクロデータの 4 チャンネルの情報である。従って、これらのマルチチャンネル・データを巧みに活用できる画像処理が必要である。特に、移動する航空機からの観測画像であることから、ぶれや輝度減衰等の影響を緩和するために目標物探索アルゴリズムの処理以前での前処理の実施が重要と考えられる。

突出した反射特性を示す画素の影響を緩和するための処理手法としては、メディアン・フィルタが有効であることが一般的に知られている。このメディアン・フィルタは画素単位のフィルタ処理手法のひとつであり、注目画素周り 3×3 画素において中央値となる輝度値を注目画素の値として採用するものである。結果として、メディアン・フィルタは原画像に含まれる雑音の除去や画像の平滑化の効果を持っている。メディアン・フィルタの効果を図-19(a)と図-19(b)に示した。例示した画像は支援艇付近を拡大表示したものである。ビデオ画像の 1 フレームは、ラスタースキャンされた 2 つのフィールド画像から構成されるものであることから、基本的にフィールド画像撮影時間差によるライン間のズ

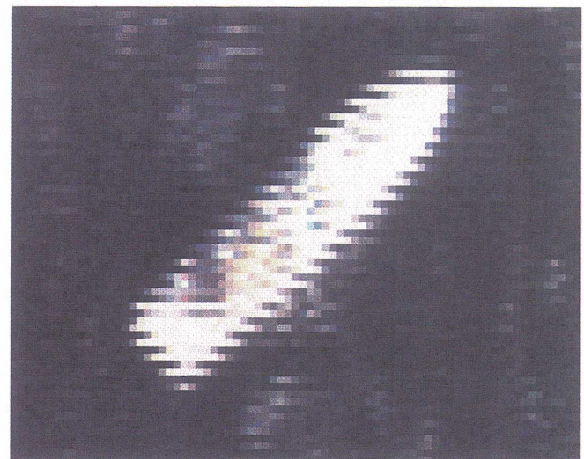


図-19(a) 支援艇原画像拡大表示



図-19(b) メディアン・フィルタ処理の効果

レやボケを含んでいるものであるが、メディアン・フィルタ一の効果により画像の平滑化が達成されている。また同時に海表面の雑音要素の影響が軽減されていることが明らかである。

5. 海上観測実験の結果と実験システムの動作評価

5. 1. 観測画像と探索アルゴリズムの動作結果

海上観測実験における探索アルゴリズムの動作例を図-20～22に示した。図-20は高度3500[ft]より観測された原画像であり、白波や海面反射などの雑音要素、そして実験支援艇と探索目標と、異なる要素が多数含まれた画像である。この観測画像に対して海面の雑音情報を除去した結果が図-21である。この雑音除去の処置を経ても海面には未だ海面と異なる反射特性を持つ画素が含まれているが、探索アルゴリズム起動の初期状態としては十分な画像と考えられる。探索アルゴリズムは画素単位に目標物であるか否かを判断するも

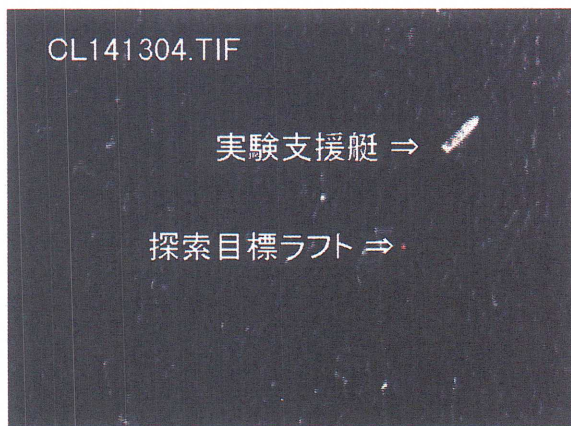


図-20 観測海面原画像

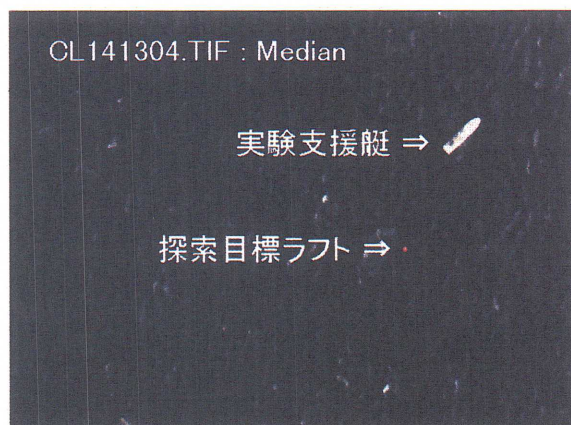


図-21 前処理による雑音除去効果

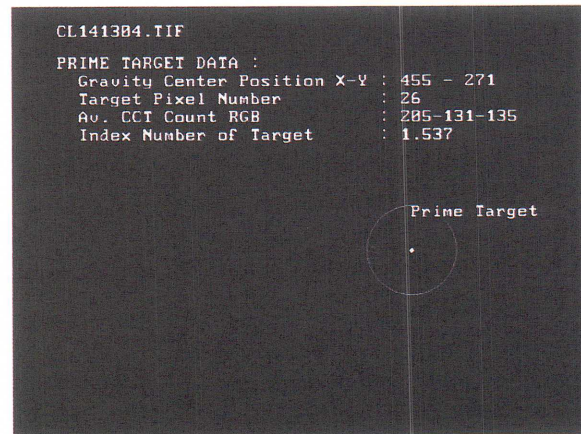


図-22 探索アルゴリズムの動作結果

のであるが、2次処理としては判別された画素集合について特徴抽出処理を実行することによって既知である目標物の形状や反射の特性との比較を実施して、最終的な判断を実施する。すなわち、判別のための2次処理はいわゆるラベリング処理とラベル付けされた画素集合の特徴抽出を実施する。最終的な探索アルゴリズムの動作結果を図-22に示した。この画像は処理動作の内容を図示したものであり、前処理から探索アルゴリズムと2次処理の過程を経て判別された目標物の重心位置や構成画素情報が明らかにされている。海上監視支援システムとしては、これらの結果を画像表示と伴に緯度経度位置表示、加えて警報音と音声指示により、捜索機観測員に対してリアルタイム支援を実施するものである。

海上実験によって明らかとなった海上監視支援システムの機能評価結果を整理して図-23に示した。図示したものは、探索・認識された救命いかだ(ラフト)の画像情報と観測高度との関係である。ここで、構成画素数とは探索アルゴリズムの処理を経て目標物と判別された画素数である。また累積輝度値とは、画素集合を構成する各画素の持つ輝度値の合計であり、いわば反射エネルギー量と考えられる。この反射エネルギーは、当然のことながら大気透過により減衰するものであるが、図中の近似曲線から考えるならば約7300[ft]程度の高度でゼロとなることが推定される。換言するならば、こ

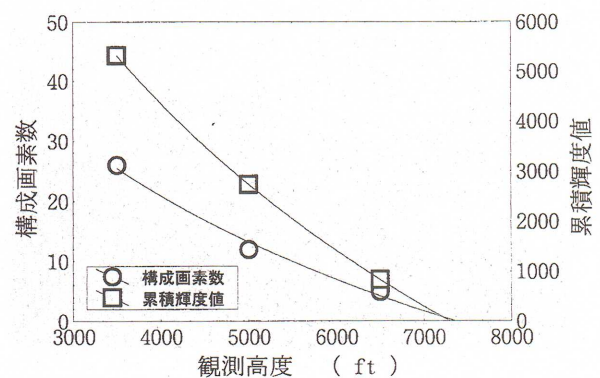


図-23 観測高度と探索結果

の高度が海上実験実施時における気象条件下での観測限界と考えられる。

5. 2. 紅炎信号使用に対する探索アルゴリズムの動作結果

ラフトには法定標準装備品として紅炎信号などが積み込まれていることから、漂流者が紅炎信号を使用した場合を評価することは重要な事項である。そこで海上実験において、紅炎信号の効果そして探索アルゴリズムの挙動についての評価を実施した。ラフト乗艇者による場合も計測したが、紅炎信号に対する探索アルゴリズムの挙動を明確にするために図-24に示したように、支援艇舷側で紅炎信号を掲げた場合についてのシステムの評価結果を図-25に示す。

図-25は、探索アルゴリズムによって目標物として判別された画素毎にマーカーを付けて表示したものである。ラベリング処理など2次処理を実施していないため、実験システムの探索アルゴリズムが支援艇舷側で使用された紅炎信号を目



図-24 紅炎信号使用状況（支援艇舷側）



図-25 紅炎信号使用に対する探索アルゴリズムの動作結果

標物として誤認した結果、目標物の重心位置が海上になっている状況が明らかである。しかしながら、海上監視において最も問題となることは見つけるべき目標を見過ごすことから、図中に示された探索アルゴリズムの挙動をシステムの性能不備とすることは適切ではないと考えられる。すなわち、実験システムが紅炎信号に対しても有効な探索機能を持つと評価すべきであり、目標物であるか否かの最終判断は形状や反射特性によって実行される2次処理の機能に分担することが、海上監視支援システムとしての機能向上に寄与すると考えられる。

6. 結言

「海上監視支援システム」の開発研究が目的の主眼としたものは、実現性を視野においたシステム構築であった。この視点において、航空機による海上搜索を支援するための装置として構築した本システムは、目標物探索及び搜索作業支援機能において十分な性能を示すことが明かとなった。リモートセンシング技術は、既に一般社会において十分に活用することが可能なほどに成熟したものであり、画像センサ類のハードウェアに関しても民生品として高精度なものが流通している状況であることから、本研究が実証した海上監視分野への適用の実利的な意義は高いものである。確かに画像処理技術が民生分野において完全なリアルタイム処理機能を持つことには未だ課題も多いが、近年のコンピュータの飛躍的な高速化を考えるならば、将来的に決して解決不可能な障壁ではない。従って、本研究の成果は充分に実現性を持つものであり、同時に得られた数多くの技術的な知見やノウハウもまた他の分野への応用や利用が可能な価値あるものである。四面環海の我が国にとって海難事故の発生は不可避のことであり、航空機による効率的な海上監視の実施は今後もさらに重要な位置を占めるものと考えられる。

本研究の実施により得られた結果を整理して以下に示す。

- (1) 海上搜索業務において、広範囲の海域を迅速かつ高い信頼性を持って搜索を実施する航空機搭載型海上監視支援システムは、有効で効率的な手段である。
- (2) 航空機リモートセンシングによる海上監視において、可視光ビデオカメラと赤外線ビデオカメラは有効な画像センサであり、有用な画像情報が得られる。
- (3) 高速処理を実現した画像処理技術によって、リアルタイム動作可能なシステム開発が実現された。
- (4) 開発された目標物探索アルゴリズムは、海上を漂流する目標物の探索のみならず設定により他の目標の判別にも転用が可能である。
- (5) 支援機能の効果的な実現には、画面表示のみならず警報や音声指示などのマルチメディア情報の利用が重要である。

謝辞

本研究の実施にあたり、多大な御協力御指導を頂いた海上保安庁関係者各位、特に海上実験の実施において格別の御協力を頂いた下田海上保安部巡視艇「はやぎり」乗組員の皆様に深く感謝申し上げます。

参考文献

- (1) (財) 日本海難防止協会：「海難防止を目的とする海上監視システムの研究」完了報告、平成7年3月
- (2) 運輸省：「海上監視支援システムに関する調査研究」平成7年度報告書、平成8年3月
- (3) 運輸省：「海上監視支援システムに関する調査研究」平成8年度報告書、平成9年3月
- (4) 運輸省：「海上監視支援システムに関する調査研究」平成9年度報告書、平成9年3月
- (5) 運輸省：「海上監視支援システムに関する調査研究」平成10年度報告書、平成10年3月
- (6) 画像解析ハンドブック編集委員会：「画像処理ハンドブック」、東京大学出版会、1997年11月
- (7) 松山隆司：「コンピュータビジョン」、新技術コミュニケーションズ、1998年6月
- (8) 岡本芳三：「遠赤外線リモートセンシング熱計測法」、コロナ社、1994年1月
- (9) 木股雅章他：「赤外線カメラ」、テレビジョン学会誌 Vol.46 No.5、pp. 559-564、1992年5月
- (10) 長谷川純一他：「画像処理の基本技法」、技術評論社、平成5年9月
- (11) 桐谷伸夫他：「海上監視支援システムに関する研究 第1報」、第68回船舶技術研究所発表会講演集、pp. 234-237
- (12) 松倉洋史他：「海上監視支援システムに関する研究 第2報」、第70回船舶技術研究所発表会講演集、pp. 11-16
- (13) 松倉洋史他：「海上監視支援システムに関する研究 第3報」、第72回船舶技術研究所発表会講演集、pp. 217-220