

ハイパースペクトルリモートセンシング技術を用いた海上罹災者救助システム

Marine Rescue System by means of Hyper-spectral Remote Sensing

佐鳥 新* 横矢 直人** 岩崎 晃**
 矢入 健久** 竹内 佑介*** 伊藤 那知***
 中村 明広† 山口 好一‡ 亀谷 豊#

Shin Satori, Naoto Yokoya, Akira Iwasaki,
 Takehisa Yairi, Yusuke Takeuchi, Tomonori Ito,
 Akihiro Nakamura, Koichi Yamaguchi and Yutaka Kametani

Abstract

We have developed a marine rescue system that detects human related information at sea by the onboard hyperspectral camera and studied real time processing algorithm. For abnormality detection, the Reed-Xiaoli Detector had worked effectively. In our method the SAM (Spectral Angle Mapper) had been combined to this method for the purpose of further precise detection. The demonstration experiment was executed at sea side distinct, where the detection system using the hyperspectral camera was mounted on a helicopter. The detection precision was assumed to be over 99%.

1. はじめに

これまで人間の目視で探索していた人命救助を、最新鋭のハイパースペクトルリモートセンシング技術を利用することにより、海上に浮遊する罹災被災者を見落とすことなく検知し、救助するための補助的手段として実用化することを目的として、罹災者探索装置と探索プログラムの開発を行う。

罹災者の発見に使用する飛翔体として、ヘリコプターを想定する。そのヘリコプターに搭載したハイパースペクトルカメラで海上を撮影(スキャン)し、リアルタイムにスペクトル情報を解析することによって、罹災者およびそれに付随する衣類などのスペクトルと類似性の高い物体を検出する。

探索システムの開発は、

- ① 探索用ハイパースペクトルカメラの開発
- ② ハイパースペクトルによる探索手法(理論)の開発
- ③ 探索に用いる端末に実装するプログラムの開発

の3項目に分類される。本研究の成果について報告する。

2. 探索システムの構成

罹災者探索システムは、ハイパースペクトルカメラ、ノートパソコン、環境計測装置から構成される。この装置は探索を行うヘリコプターに搭乗する作業員(隊員)が姿勢安定

*北海道科学大学工学部電気電子工学科

**東京大学大学院工学系研究科先端学際工学専攻

***北海道衛星株式会社研究員

†(有)アイドマ

‡(有)山昌

#(株)アルプスサイン

化装置と共に身体に装着して使用する。探索は長時間に及ぶため、作業者の負担を軽減することを実現するには、海上の罹災者の候補物体の検出は探索装置に任せ、異常物体発見のアラームが鳴った時に人間が目視して探索に向かうことができるような補助システムとして位置付ける装置である。

ヘリコプターによる探索のイメージを図1に示す。搭載するハイパースペクトルカメラの傾斜角と観測幅の関係を図2に示す。また図3は探索に用いるハイパースペクトルカメラのシステムブロック図である。

$$L_2 = L_1 \times 2 \cdot \tan\left(\frac{45^\circ}{2}\right) = \frac{1000[m]}{\cos\theta} \cdot \tan\left(\frac{45^\circ}{2}\right) = \frac{414.2[m]}{\cos\theta} \quad (1)$$

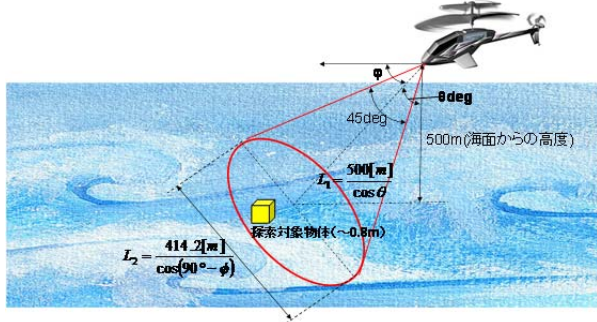


図1 ヘリコプターによる罹災者探索システムのイメージ

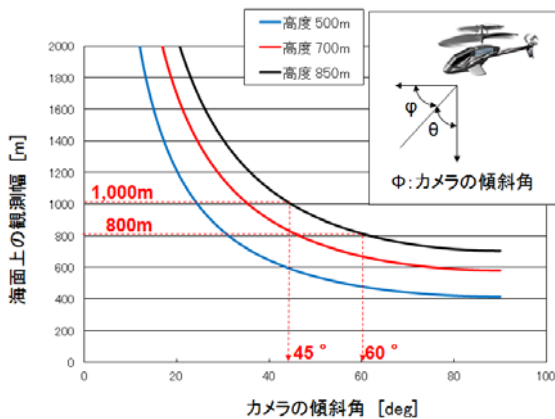


図2 ハイパースペクトルカメラの傾斜角と観測幅

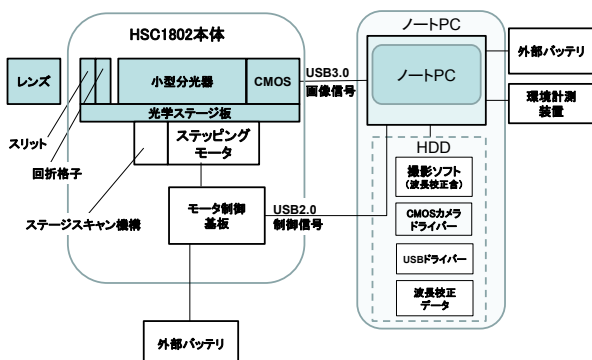


図3 探索装置のシステムブロック図

本システムは事前に登録された「人」に付随するスペクトル情報をもとに、海上に浮遊する物体から「人」に分類される候補物体をリアルタイムに検出するものである。候補物体が検出されるとアラームを鳴らし、その位置の座標をロックする。ロックされたGPSの座標を中心にヘリの高度を下げてターゲットに接近し、罹災者の探索は最終的には人間が目視で行い、現場の状況を判断しながら救助作業に移行する。罹災者探索までのフローを図4に示す。

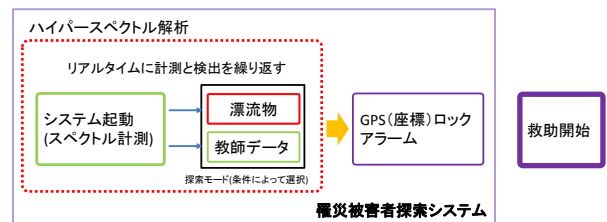


図4 探索の流れ

3. ハイパースペクトルによるターゲット探索手法の研究開発

ターゲット検出の基盤となる異常検出は、周辺画素のスペクトルと明らかに異なるスペクトル特性を有する画素を特定する技術である。有名な異常検出手法は Reed-Xiaoli 検出器 (RXD; Reed-Xiaoli Detector) がある。RXDは数学的には主成分分析 (PCA; Principal Component Analysis) の逆演算とみなせる。背景スペクトルの高次の主成分に特徴をもつスペクトルを異常として検出する手法である。RXDは、統計学におけるマハラノビス距離と同義でもあり、信号処理における整合フィルタ (Matched Filter) で注目スペクトルを信号として処理することと同じである。

$$RX(y) = (y - \hat{\mu}_b)^T \hat{C}_b^{-1} (y - \hat{\mu}_b) \quad (2)$$

ここで、 $\hat{\mu}_b$ は背景の推定平均スペクトル、 \hat{C}_b は背景の推定分散共分散行列を表す。

ターゲット検出を実現するためには検出物のスペクトル特性に関する事前知識が必要である。地上計測によって得られるスペクトルを教師データとして使用する場合は、教師スペクトルとハイパースペクトルデータの整合性をとることが重要となる。従って、大気やセンサの特性を考慮した教師スペクトルの補正が前処

理として必要である。今回は、ターゲット検出手法の性能を評価するために、教師スペクトルと観測画像の整合性はすでにとれていることを仮定した。観測画像の中から手動で教師サンプルを選択し、教師スペクトルを作成した。ここではライフジャケットを検出対象物とした。

教師スペクトルが既知の場合、整合フィルタの信号にターゲットスペクトルを設定することで、RXDをターゲット検出に拡張することができ、この手法をスペクトル整合フィルタ（SMF: Spectral Matched Filter）と呼ぶ。背景スペクトルの分散共分散行列の代わりに相関行列を用いる相関整合フィルタ（CMF: Correlation Matched Filter）は、背景特性をより効率的に把握できることが報告されている。

ターゲットスペクトル s 、注目画素のスペクトル y に対して、SMFの出力は以下の式で与えられる。

$$D_{SMF}(y) = \frac{s^T \hat{C}^{-1} y}{s^T \hat{C}^{-1} s} \quad (3)$$

\hat{C} は局所的な観測スペクトルの推定分散共分散行列を示す。本手法では背景スペクトルとタ

ーゲットスペクトルの各波長帯におけるばらつきは同じであることを仮定している。

スペクトル空間での角度を類似度として最近傍法により分類を行う Spectral Angle Mapper（SAM）は古典的ではあるが利用分野ではよく用いられる手法である。ターゲットスペクトルに対する類似度を計算することでターゲット検出にも応用できる。

$$D_{SAM}(y) = \frac{s^T y}{(s^T s)^{1/2} (y^T y)^{1/2}} \quad (4)$$

4. 搭載用探索ソフトウェアの開発

本ソフトウェア（以下探索ソフト）は、罹災被害者探索用ハイパースペクトルカメラで撮影した海上画像よりリアルタイムで、

- ① 解析して浮遊する物体や罹災者を検出
- ② 検出位置の緯度・経度を確定

を行うものである。この実装プログラムの開発は有アイドマが担当した。

本ソフトウェアの機能を表1に示す。

表1 搭載ソフトウェアの仕様

項目		説明
探索機能	画像撮影	ハイパースペクトルカメラで撮影した画像を受信し保存する。
	測定機能	環境測定装置よりデータを測定し、画像とともに記録・保存する。
	解析・検出機能	撮影した画像から人物の有無を特定する。
	警報機能	画面上に撮影画像を表示し、検知した箇所を強調表示（点滅等）する。また、ブザーを鳴動する。
	履歴	撮影画像を蓄積し、画像と警報の履歴表示を行う。
調整機能	基礎データ登録	教師データの撮影・登録 マスタの登録

5. 実験方法

実験にはハイパースペクトルカメラ HSC1802-USB3 をラインセンサーとして使用し、ヘリコプターの飛行を利用して2次元画像を取得した。ハイパースペクトルカメラの写真を図5に、仕様を表2に示す。



図5 探索実験用ハイパースペクトルカメラ

表2 ハイパースペクトルカメラの仕様

項目	仕様
波長帯域[nm]	350-1050
波長サンプリング間隔	5
ビット数 [bit]	10bit
レンズマウント	C/CSマウント
撮影幅 [pixel]	1280ピクセル
撮影スピード	60FPS
インターフェイス	USB3.0×1 USB2.0×1 電源×1
寸法[mm]	H105×W80×D204

ハイパースペクトルカメラでは、ライン上の各ピクセルを分散素子（ここでは透過型回折格子）によってスペクトル方向に分解する。3章の手法にのっとりリアルタイムに解析を行い、海色スペクトルと大きく異なる対象および教師データとの相関の大きいものを検出し、画面上への表示と音による警報で知らせる。ハイパースペクトルカメラの撮影原理を図6に示す。

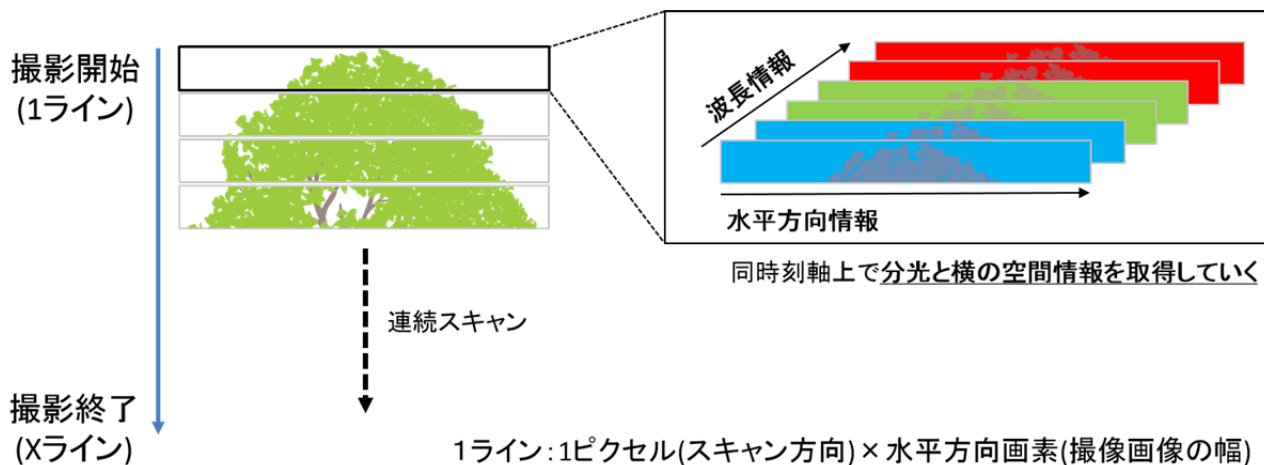


図6 ハイパースペクトルカメラの撮影原理

実験は小型ヘリに搭乗する撮影者に、振動除去モジュール（スタビライザー）を装着して、ヘリの窓から45°下方に向けて撮影する。撮影者が撮影する位置を確認するために、高解像度のWEBカメラをモニターとして用いた。撮影中は、実験者の意識がPCのモニター画面に集中し

ており、窓越しにヘリの外の様子を見る余裕がないためである。

実験者（撮影者）がスタビライザーとハイパースペクトルカメラを装着した外観を図7に示す。



他、接続品

- ・スタビライザー/HSC1702駆動用バッテリー
- ・探査用ノートPC/データ保存用HDD
- ・GPS
- ・モニター用WEBカメラ



図7 小型ヘリコプター搭載用ハイパースペクトルカメラシステム

6. 空撮実験の結果

実験は神奈川県の大磯漁港とその沖合の海上で行った。予備実験として海岸に分かりやすいターゲットとしてライフジャケットを配置し、解析手法の検出精度の確認を行った。図8は地上ターゲットとヘリからの撮影した写真である。

SMF, CMF, SAMの3つの手法を実験データに適用しその有効性を評価した。実験データの合成カラー画像を図9に示す。拡大図中に見えるピクセルサイズのオレンジ色の部分がライフジャケットの

配置位置である。リアルタイム処理を想定し、64ライン(画像サイズ1280×64)毎にターゲット検出を実施した。各ブロックにおいて検出応答を計算し、平均値から3.5σ以上離れている画素を検出画素とする閾値処理を行った。

図10に示すSMFとSAMのDecision Fusionで得られる結果が、解析方式では最も良い性能を示した。



図8 地上ターゲット(右)と上空から撮影したターゲットの位置(左)

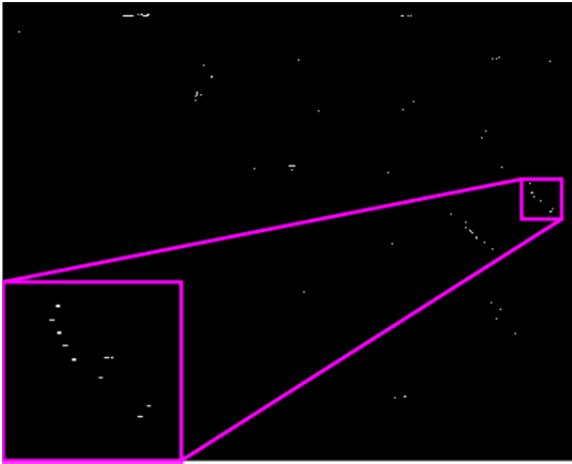


図9 解析データの合成カラー画像



図10 SMF と SAM の融合による検出結果

次に大磯漁港の沖合にて、ライフジャケットや合羽を着た人物を海上にロープでつないで実験を行った。解析には海色スペクトルより高次の固有値ベクトルを探索するモードを用いた。飛行高度は500フィート（150m）であった。

実験結果を図11に示す。異物としてライフジャケットを装着した人物、漁船、定置網のブイが検出されていることが分かる。

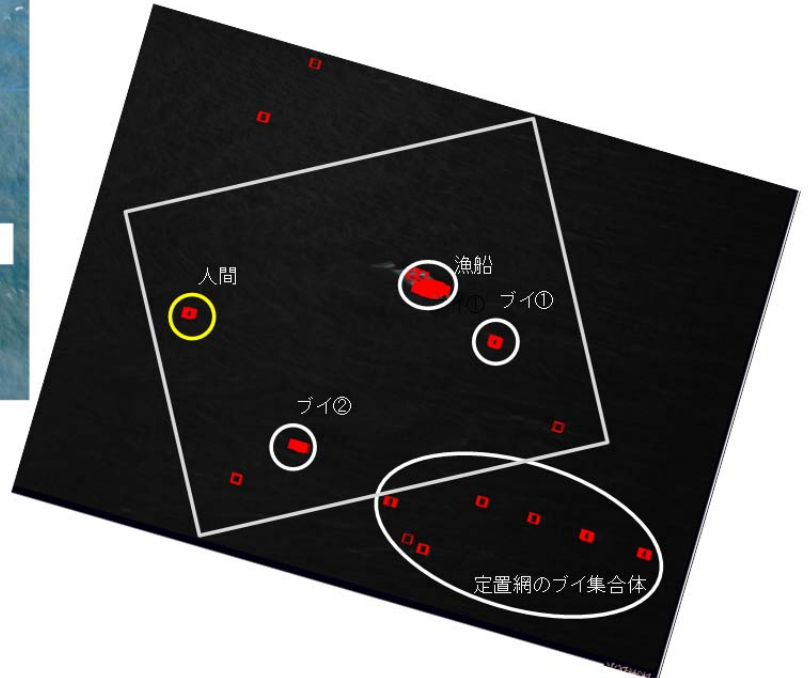
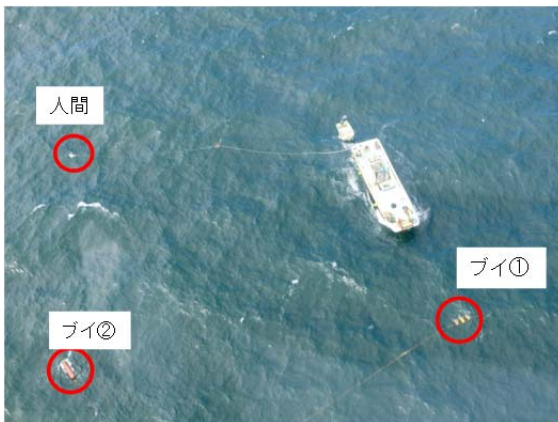


図11 沖合での実験の様子（左）と解析結果（右）

7. 結論

ハイパースペクトル技術を応用することにより、これまで目視で探索を行っていた救助を支援する装置の研究開発を行った。探索ソフトは横 1280 ラインでリアルタイム処理が要求されるため、実装する探索アルゴリズムの軽量化と高速化が技術的課題ではあったが、実用レベルのものを開発することができた。

今回の一連の実験を通して、白波など輝度値が高いものは背景の特性を学習する際に大きな外乱要因となりうることが分かった。リアルタイムで処理する各ブロック内でも、スペクトル特性からクラスタリングやセグメンテーションを行うことで、より詳細に背景のスペクトル特性を学習することが今後の課題である。

今後は海上だけではなく、山岳での救助作業などにも応用していきたい。

参考文献

- (1) Chang, C.-I. and Chiang, S.-S.: Anomaly detection and classification for hyperspectral imagery, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, Vol. 40, No. 6, pp. 1314-1325 (2002).
- (2) Reed, S. and Yu, X.: Adaptive multiple-band CFAR detection of an optical pattern with unknown spectral distribution, *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Process.*, vol. 38, no. 10, pp. 1760-1770 (1990).
- (3) Robey, F., Fuhrmann, D., and Kelly, e.: A CFAR adaptive matched filter detector, *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, Vol. 28, No. 1, pp. 208-216 (1992).
- (4) Yuhas, R. H., Goetz, A. F. H., and Boardman, J. W.: Discrimination among semiarid landscape endmembers using the spectral angle mapper (SAM) algorithm, *in Summaries of the Third Annual JPL Airborne Geoscience Workshop*, JPL Publication 92-14, Vol. 1, pp. 147-149 (1992).
- (5) 北海道衛星㈱, 「ハイパースペクトルとは」, <http://www.hokkaido-sat.co.jp/product/ab-out-hyperspectral>