UAVによる空撮と画像解析を用いた被災者捜索技術の開発

Development of a Method for Searching Survivors in Disaster-affected Areas with UAV and Image Analysis

佐藤遼次¹・越村俊一²

Ryoji SATO and Shunichi KOSHIMURA

When natural disasters strike, such as tsunamis or floods, people are sometimes isolated in disaster-affected areas. In this study, the authors propose a method of searching survivors with UAV (Unmanned Aerial Vehicle) to show usefulness and problems when applying to search and rescue operations. First, with the help of the UAV, they took pictures of humans surrounded by conditions similar to disaster-affected areas. Second, they explored possibility of human detection from those images, using object-based image analysis. Through the study, they found that their UAV observation potentially works well for searching survivors in disaster-affected areas.

1. 序論

大規模な災害の被災地では、被災者が孤立してしまう事態が頻繁に発生する。孤立した被災者の多くは、建物の上階・屋上や高台などで救助を待っており、彼らの早期発見は人命救助の観点から極めて重要である。現在は有人のヘリコプターによる捜索・救助が行われているが、より小型かつ簡便な無人航空機（UAV=Unmanned Aerial Vehicle）が「捜索」を担い、有人機が「救助」を担うことで、より円滑な救命活動の展開が期待できる。現状でのUAVによる捜索は、例えば炭田ら（2011）で述べられているように機能や法制度の面で課題が多く、現場に適用するにはまだ時間がかかるものの、UAVによる被災者捜索の手法を確立していくことは、災害対応におけるUAVの有効性やそのために必要な機能を示すことに繋がる。

既往の研究事例を整理すると、画像や映像から人を検出するための研究は古くから行われているが、UAV等を用いて上空から人を撮影した場合についての検証は少ない。たとえば、Gaszczakら（2011）やDoherty・Rudol（2007）は、UAVに熱赤外ビデオカメラを搭載して人を撮影し、これが人の検出に有効であることを示した。またOreifejら（2010）やReillyら（2010）は、UAVから撮影した光学画像から人の検出を試み、一定の成果を上げている。

一方、既往の研究では、特に災害時の状況を想定した検証がほとんど行われていないという課題がある。災害時の利用を目的とするには、特に撮影環境については災害時を想定した環境で行う必要がある。その他にも人の

姿勢や服装、UAVの高度、カメラの角度といった条件によっても見え方は異なる。さらにセンサの種類も、光学カメラや光学ビデオカメラ、熱赤外カメラ等の中から、状況に応じて適したものを選ぶ必要がある。そのため、こうした撮影条件とそれに応じた最適な検出手法を解明することは重要な課題である。

本研究の目的は、UAVを用いた被験者の撮影と画像解析を通して、災害時の被災地探索におけるUAVの有効性を実証することである。本研究では、災害時を想定した撮影条件の下でUAVから被験者を撮影し、画像解析による被験者の検出を試みる。具体的には、撮影場所、UAVの高度、カメラの角度、カメラの種類、被験者の服装と姿勢の計6つの条件を設定し、各条件の違いに応じた被験者検出の検証を行う。さらに、撮影により得られた画像にオブジェクトベース画像解析を行うことで、人体の特徴の検出を試みる。そしてその精度を評価することで、被災者捜索に効果的な解析手法を検討するとともに、その有効性について撮影条件との関連から論ずる。

2. 撮影条件の設定と人の撮影

(1) UAVの諸元

本研究で使用したUAVは、独Ascending Technologies社製AscTec Falcon 8である。概観を図-1に、主な諸元について表-1に示す。本機は、予め飛行経路と撮影ポイントを設定しておくことで、GPS制御により自動で飛行と撮影を行うことが可能である。

(2) 撮影条件の設定

撮影場所として、仙台市宮城野区蒲生から2箇所を選定した。1箇所は水溜りが点在し、雑草が生い茂っている湿地帯である。元々は水田だった場所だが、東日本大震災以降は湿地帯となっている状況であり、水域の撮影

1 学生会員 東北大学大学院工学研究科
2 正会員 博(工) 東北大学教授 災害科学国際研究所

図-1 使用したUAV: AscTec Falcon 8

表-1 使用したUAVの諸元

重量	1.8 Kg
サイズ	0.85m × 0.85m × 0.15m
最大ペイロード	500g
飛行可能時間	15分
推奨飛行距離	半径300 m
耐風性	10 m/s
耐水性	なし

および周囲と人との識別が容易な環境での撮影を目的として選定した。もう1つは、東日本大震災により発生した瓦礫が集積された場所である。自動車や電車などの大きなものから、金属片やプラスチック片などの小さなものまで、様々な色・大きさの瓦礫が散らばっている。津波被災時において周囲に雑多な物が散乱しているような、人に注目することが難しい環境での検証を目的として選定した。

実際の被災者の服装には様々なものが考えられるが、本研究では服の色による見え方の違いのみを検証の対象とした。被験者として6人に協力してもらい、赤、水色、枯草色の上着を2着ずつ着て、立った状態で腕は身体の横に付け、目線が正面前方を向くよう姿勢を統一した(図-2)。また、UAVの飛行高度は30mで一定とした。これは、空撮用として本UAV機を使用するに当たり、安全性を考慮して定められた最も低い高度である。カメラの角度については、地上に対して直下90度および斜め45度の2パターンで撮影した。また本研究では、光学カメラと近赤外カメラの2種類を用いて撮影を行った。光学カメラは株式会社リコーのGX200を、近赤外カメラは米Tetracam社のADC Liteを使用した。高度30mから撮影した場合の諸元を表-2に示す。

以上の撮影条件の下、湿地帯には6人、瓦礫域には5人の被験者を配置し、2012年11月28日午前に撮影を行った。1つの設定条件につき、湿地帯では21枚、瓦礫域では5枚の撮影を行い、1回の撮影に要した時間はそれぞれ9～10分、1～2分であった。

赤 水色 枯草色

図-2 被験者の服装

表-2 UAVに搭載するカメラの諸元

	リコー社GX200	米Tetracam社ADC Lite
波長帯	可視RGB	近赤外, 可視GR
画素数	4000 × 3000 pixel	2048 × 1536 pixel
分解能	1.1cm/pixel	1.1cm/pixel
撮影範囲	43.3 × 32.5 m	23.3 × 17.3 m

(3) 撮影画像の分析

光学カメラで撮影した画像の一例を図-3に示す。目視によりこれらの画像を分析した結果、湿地帯の場合、赤や水色のように背景から際立った色の服であれば、特にカメラ角45度の場合、被験者の識別は十分に可能であった。一方で瓦礫域の場合は、いずれのカメラ角、服の色であっても、瓦礫に囲まれた中から被験者を識別するのは難しいことが確認できた。最後に2地点に共通する特徴として、身体の影が挙げられる。特にカメラ角90度の場合には、影が小さな瓦礫と重なっていても認識することが可能であった。

以上の結果から、目視だけで被験者を認識するのは困難な場合があること、機械的に人の位置を特定することで、目視による見落としを補完する手法が必要であることが確認された。また、カメラ角45度で撮影した光学画像からは人の上半身を、90度で撮影した光学画像からは人の影を検出できる可能性が高いことがわかった。次に、近赤外カメラで撮影した画像の一例を図-4に示す。画像が明るいほど近赤外線反射が強く、暗いほど弱いことを表している。頭や顔の部分では共通して反射が弱いことが確認できたが、それ以外では同じ上着であっても反射の強さに違いが見られた。したがって、近赤外線を人の検出に利用するのは難しいことがわかった。

3. 画像解析による人の特徴の検出

解析対象画像にオブジェクトベース解析を適用することで、画像から被験者の上半身および影の検出を試みる。解析には画像解析ソフトウェア「ENVI 5.0」の機能の1つである「Rule-Based Classification」を使用した。なお、画像1枚当たりの解析に要した時間は3分程度である。

表-3 セグメンテーションの結果

	撮影場所	対象画像	検出人数	[Scale Level, Merge Level]	精度	合計精度
上半身	湿地帯	6枚	6人	[40.0, 99.9]	6/6	11/11
	瓦礫域	1枚	5人	[40.0, 95.5]	5/5	
影	湿地帯	6枚	6人	[25.0, 99.9]	5/6	9/11
	瓦礫域	2枚	5人	[27.0, 99.5]	4/5

図-3 光学カメラでの撮影により得られた画像
(丸は被験者の位置を示している) 図-5 セグメンテーション後の画像
(左：上半身が対象、右：影が対象) 図-4 近赤外カメラでの撮影により得られた画像
(丸は被験者の位置を示している)

(1) 解析対象画像の準備

撮影画像を分析した結果から、上半身の検出にはカメラ角45度で撮影した光学画像を、影の検出にはカメラ角90度で撮影した光学画像を用いることとした。なお湿地帯の画像に関しては、被験者を中心に4分の1のサイズにトリミングしてから解析を行なった。これは、本来撮影の対象としていなかった人や湿地帯とは無関係な瓦礫等が画像の隅に写っていたため、トリミングによってこれらを除く必要があったためである。

(2) 画像のセグメンテーション

まず最初のステップとして、画像のセグメンテーションを行う。画素値の変化の大きさに基づいて画像を微小領域に分割した後、空間的関係性の強さに応じてそれらを統合することで、検出対象の輪郭を良好に再現した画素の集合、即ちオブジェクトの形成を図る。これらの分割と統合の処理は、それぞれScale LevelとMerge Levelという2つのパラメータによって支配され、共に0から100の間で値を設定する必要がある。なおENVI 5.0ではこれらのパラメータを設定するに当たり、それぞれ使用するアルゴリズムを選択する。本研究では、初期設定であるEdgeおよびFull Lambda Scheduleを採用した。

最適なパラメータの設定値を解明するため、次の手順でパラメータスタディを行った。まずMerge Levelを0

(即ち全く統合を行わない)に固定した上でScale Levelを段階的に変化させ、検出対象に対して最適な画像の分割の度合いをある程度絞り込む。次にMerge Levelを段階的に変化させ、先ほど絞り込んだScale Levelの値と組み合わせた場合の結果を逐次出力し、それらを比較検討する。これにより、対象の輪郭を最も良好に再現する「分割」と「統合」の組み合わせを検討した。

その結果、表-3に示す設定値を得た。また、セグメンテーションにより得られた画像の一例を図-5に示す。結果として、上半身については11人全て、影については11人中9人という精度で、オブジェクトの形成に成功した。影のオブジェクトを形成できなかった場合については、影が投影されていた地面の色が暗く、影と地面の画素値に差が無かったためにこれらが統合されてしまったと考えられる。

(3) オブジェクト分類による特徴の検出

次にオブジェクト分類を行い、セグメンテーション後の画像から任意のオブジェクトを検出する。オブジェクト分類は、各オブジェクトの画素値 (Spectral)、形状 (Shape)、質感 (Texture) という3種類の情報に対応したパラメータについて、検出対象に応じた閾値を設定することで任意のオブジェクトを抽出する処理である。本研究ではこのうち形状 (Shape) に着目し、上半身のオブジェクトおよび影のオブジェクトの検出を試みた。

上半身のオブジェクトについて観察したところ、周囲と区別できるような明確な形状的特徴は見られなかった。そのため、使用可能なパラメータについて一つ一つ有効性を検証し、効果的なパラメータの特定を試みた。その結果、オブジェクトを構成するピクセル数 (Area)、真円度 (Roundness)、凸状性 (Convexity) という3つのパラメータが特に有効であるとわかった。これらのパラ

表-4 上半身の検出に用いたパラメータおよび設定した閾値

	湿地帯	瓦礫域
ピクセル数(Area)	1079-1840	798-2498
真円度(Roundness)	0.53-0.81	0.50-0.85
凸状性(Convexity)	1.35-1.91	1.29-1.63

メータについて、セグメンテーションを行った全ての画像から上半身を漏れ無く検出できるよう閾値を検討した。設定した閾値の値を表-4に、検出結果の画像を図-6に示す。

被験者の影のオブジェクトの検出では、画像中で影が伸びている方向にまず着目した。これは太陽の方位に応じて決まるため、撮影した日時と被験者の位置さえわかれば算出可能である。さらに、本研究ではUAVが常に一定の方向を向いた状態で撮影しているため、画像中における影の方向も全て一定として求めることができる。そこで第1の特徴として、画像の横軸に対してオブジェクトの長軸方向がなす角度を表すパラメータ (Main-Direction) を採用し、上述した情報を基に閾値を計算した。

まず画像の撮影日時は、湿地帯では2012年11月28日午前9時8分、瓦礫域では午前10時6分として統一した。被験者の位置については、それぞれ各被験者の位置の中心をとり、湿地帯では北緯38度14分41.58秒、東経140度59分46.88秒、瓦礫域では北緯38度14分38.78秒、東経140度59分38.80秒とした。撮影時におけるUAVの向きは、湿地帯では北から見て西に65度の方向、瓦礫域では155度の方向であった。以上の値から画像中の影は、湿地帯では画像の横軸から時計回りに約123度の方向、瓦礫域では44度の方向に伸びていると計算された。

次に影の持つ特徴として、影の長さに着目した。影の長さは人の身長によって差が生じるものの、身長が決まればあとは太陽の仰角だけを用いて計算が可能である。したがって、人の身長にある程度幅を持たせて計算することで、複数人の検出に有効な閾値を設定できると考えた。そこで第2の特徴として、オブジェクトの長軸方向の長さをピクセル数で表したパラメータ (Major-Length) を採用した。

太陽の仰角は方位と同じく、撮影の日時と被験者の位置から算出できる。先程の値を用いて計算した結果、湿地帯での仰角は19.0度、瓦礫域では24.8度と求まった。画像の分解能を1.1cm/pixelで一定とし、今回の被験者の身長である163cmから172cmまでの人を検出対象として、式(1)により画像中における影の長さを計算した。

$$\text{影の長さ [pixel]} = \frac{\text{身長 [cm]}}{\tan(\text{仰角})} \div 1.1[\text{cm/pixel}] \cdots (1)$$

以上2つのパラメータについて計算した値を参考に、

表-5 影の検出に用いたパラメータ、閾値の計算値と設定値

	湿地帯		瓦礫域	
	計算値	設定値	計算値	設定値
角度(Main-Direction)	123	118-133	44	38-57
長さ(Major-Length)	416-447	422-462	304-321	278-395
比率(Elongation)	-	2-8	-	2-6

表-6 検出の精度

	検出精度	誤検出数
上半身	湿地帯: 6/6	湿地帯: 0-3個
	瓦礫域: 5/5	瓦礫域: 62個
影	湿地帯: 4/6	湿地帯: 0個
	瓦礫域: 4/5	瓦礫域: 0個

全ての影のオブジェクトを漏れ無く抽出できるよう閾値の設定を行った。さらに誤検出を除くため、オブジェクトの長軸と短軸の長さの比率を表すパラメータ (Elongation) を追加し、パラメータスタディにより閾値を設定した。

閾値の計算値および実際に設定した値を表-5に、検出結果の画像を図-7に示す。

(4) 検出の結果と考察

各特徴検出の精度について、表-6に示す。

上半身の検出では、結果として全ての上半身のオブジェクトを検出することに成功した。一方で、湿地帯では最大で3つ、瓦礫域では非常に多くの誤検出が見られた。このことから、このように様々な形や大きさの物が集積された環境では、誤検出を完全に除くのは困難であることがわかった。

影の検出については、Main-Direction, Major-Length共に計算値から若干前後に幅を持たせることで、1つを除き全ての影のオブジェクトを検出することができた。さらにElongationを加えたことで、誤検出を完全に無くすることに成功した。検出できなかった1つの影については、影が地面の段差に沿って伸びていたため、上空から見た長さが極端に短くなったことが原因と考えられる。

上半身の検出では全てのオブジェクトを漏れ無く検出できたという点で、影の検出よりも良好な結果が得られた。しかしながら、誤検出という点では影の検出の方が優れており、1つの誤検出も含まずに検出することができた。上半身検出における誤検出を減らす方法としては、画像中で検出を行う範囲を限定することが考えられる。今回は1枚の画像から5名の被験者全てを検出できるように閾値を設定したが、斜め視の撮影であるため手前側の被験者は大きく、反対に奥側の被験者は小さく写っている。それにより各上半身を構成するピクセル数も変わ

図-6 上半身の検出結果（白色が検出されたオブジェクトを示している）

図-7 影の検出結果（白色が検出されたオブジェクトを示している）

ってくるため、形状の特徴のばらつきが大きくなり、結果的に誤検出も多くなったと見られる。そのため、検出範囲を適切に限定してやることで誤検出を減らせる余地があると考えられる。

4. 結論

本研究では、災害発生後を想定した撮影条件の下で UAV を用いて被災地を撮影し、画像解析による人の特徴検出と位置の特定を試みることで、被災者を捜索するための手法を提案した。

画像の撮影角度に応じて人の上半身および影にそれぞれ着目し、オブジェクトベース画像解析によってそれらを機械的に検出するために最適なパラメータ設定や閾値を明らかにすると共に、検出の精度についても評価を行った。その結果、上半身については、一様な色の服を着ている場合であれば、カメラ角45度で撮影した光学画像から、被災者を漏れ無く検出できることを確認した。影に着目した場合、日照条件や地面の色等によって精度が左右されるものの、形成したオブジェクトについては誤検出無く、11名中8名という正解率で検出に成功した。

以上より、限られた条件の下ではあるが、簡易なデジタルカメラを搭載した UAV を被災者の捜索に活用できることを実証することができた。今後は光学カメラ以外のセンサを導入することで、様々な条件に応じて最適な被災者捜索手法の開発を行なっていく必要がある。

謝辞：本研究の実施には、科学研究費補助金（課題番号：24651195）、東北大学総長裁量経費、および東北大学災害科学国際研究所 特定プロジェクト研究の補助を受けた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 炭田潤一郎・鈴木真二・東野伸一郎・西脇英彦・溝武勝嗣・山下敏明・渡邊邦一（2011）：実用的な災害監視小型無人機の開発について，飛行機シンポジウム講演集（CD-ROM），49巻，1A3.
- 日本建築学会（1978）：建築設計資料集成1 環境，pp. 51.
- 野里雅彦・中西弘明・野波健蔵・川端邦明・田所諭・三浦憲二郎（2007）：上空からの情報収集ミッションユニット（上空MU），文部科学省大都市大震災軽減化特別プロジェクト平成18年度成果報告書，pp. 31-91.
- Doherty, P. and P. Rudol (2007) : A UAV Search and Rescue Scenario with Human Body Detection and Geolocalization, Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics) 4830 LNAI, pp. 1-13.
- Gaszczak, A., T. P. Breckona and J. Han (2011) : Real-time People and Vehicle Detection from UAV Imagery, Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering 7878, art. no. 78780B.
- Oreifej, O., R. Mehran and M. Shah (2010) : Human Identity Recognition in Aerial Images, Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, art. no. 5540147, pp. 709-716.
- Reilly, V., B. Solmaz and M. Shah (2010) : Geometric Constraints for Human Detection in Aerial Imagery, Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics) 6316 LNCS (PART 6), pp. 252-265.