

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 1 日現在

機関番号：12501
研究種目：挑戦的萌芽研究
研究期間：2011～2012
課題番号：23651163
研究課題名（和文） 航空機搭載熱赤外センサを用いた夜間における災害把握
研究課題名（英文） Extraction of damage due to disasters in nighttime using aerial thermal infrared sensors
研究代表者
山崎 文雄（YAMAZAKI FUMIO）
千葉大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：50220322

研究成果の概要（和文）：

本研究では、最近、小型化・高性能化してきている熱赤外センサを用いた空撮の熱画像を用いて、建物倒壊などの災害状況を把握する手法の開発を行った。2012年に茨城県つくば市などを襲った竜巻の直後に、小型ヘリコプターから昼間の可視および熱画像と夜間の熱画像を撮影した。これらの熱画像と、地上調査に基づく建物被害状況を比較し、熱画像による被害抽出の可能性を検討した。

研究成果の概要（英文）：

In this research, methods to extract building damage from aerial thermal infrared sensors, which became smaller and higher performance, are investigated. Thermal and optical images were acquired from a small helicopter in the daytime and nighttime just after the 2012 tornado that hit Tsukuba City. Comparing these images and field survey data, the possibility to extract building damage from aerial thermal images was suggested.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：都市システム安全工学

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学 ・ 社会システム工学・安全システム

キーワード：熱画像、災害把握、航空機、熱赤外センサ、夜間撮影、竜巻、建物被害

1. 研究開始当初の背景

リモートセンシングによる災害把握は、近年、国内外ともに非常に盛んになってきている。とくに人工衛星に搭載された光学センサや合成開口レーダ(SAR)の高解像度化が進むとともに、センサの首振り機能などによって、災害直後における撮影機会も増大している。しかし、人工衛星による緊急観測は、最短で

も1～3日後であるため、大規模災害に見舞われた発展途上国などでは極めて有用であるが、我国における役割はさほど大きくない。日本での緊急観測には、ヘリコプターからのヘリテレ映像や航空機からの空中写真が多用されている。しかし、これら可視・近赤外域の映像・画像は夜間には撮影できず、夕刻や夜間に発生した災害の場合には、約半日の

「空白の時間」が生じることになる。夜間にも機能するセンサとしては、航空機搭載の合成開口レーダ(SAR)と熱赤外センサなどがあるが、前者はいまだ研究開発レベルで、実用化・普及までには時間がかかると考えられる。後者は単バンド画像であるため、従来、災害での活用は火山噴火などの温度把握が主であったが、画像処理と事前地図情報を組合せて、「夜間の空白」を埋める情報収集手段とすることを着想した。

2. 研究の目的

地震などの自然災害が発生した場合、被害範囲・程度を早期に把握することは、緊急対応をとるために極めて重要である。我国は国土が狭いこともあって、災害状況の早期把握には、ヘリテレ映像や空中写真による航空リモートセンシングが多用されており、被害が広域にわたる大規模地震や、地上からのアクセスが困難な山間地域などの被害把握に力を発揮している。しかし、空撮による映像・画像は、可視域および近赤外域の光を利用しているため、太陽光のない夜間においては、基本的に情報収集が困難になる。一方、熱放射を観測する熱赤外センサは夜間でも利用可能である。本研究では、最近、小型化・高性能化してきている熱赤外センサによる空撮画像を用いて、建物倒壊や道路閉塞などの災害状況を把握する手法を開発する。

3. 研究の方法

(1) 使用データ

本研究では、茨城県常総市からつくば市にかけて発生した竜巻の被害把握を行う。対象地域としては、被害の大きかった北条地区を取り上げる(図1)。竜巻発生後に撮影した熱赤外画像による温度分布の空間変動を見ることにより被害を把握する。今回、昼夜の熱赤外画像および昼間の可視画像の撮影をスカイマップ(株)に委託し、小型ヘリコプターから高度460mでほぼ垂直に撮影した。撮影された画像を図2に示す。図2a、2cは、竜巻発生より2日後の5月8日の14:00頃に撮影した昼間可視画像、熱赤外画像の一部切り出したもので、解像度はそれぞれ0.25 m/pixel, 1.54 m/pixelである。図2dは、同日の19:30頃に撮影した夜間熱赤外画像である。図2bは図2aから作成した建物輪郭データであり、昼夜それぞれの熱赤外画像と組み合わせて用いることにより建物被害の把握を行う。

(2) 研究手法

熱赤外画像の参照データを作成するために、可視画像から建物一棟ごとの被害判読を行った。ArcGISを用いて、スカイマップ社が撮影した昼間可視画像とゼンリンのGISデータを参照して建物輪郭データを作成した。

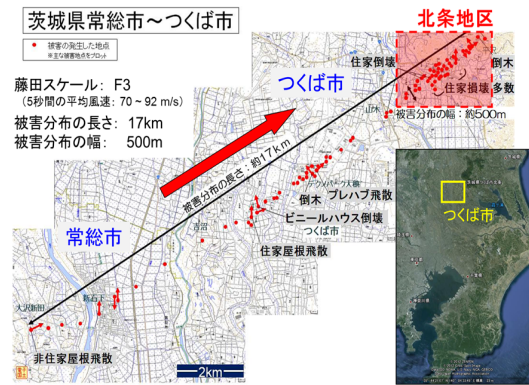


図1 気象庁による竜巻被害詳細(一部加筆・修正)

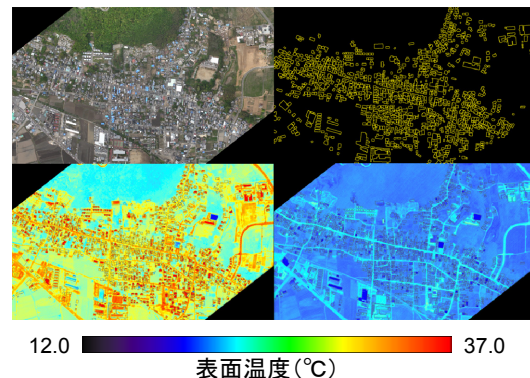


図2 a: つくば市北条地区における昼間可視画像, b: 可視画像から作成した建物輪郭データ, c: 昼間熱赤外画像, d: 夜間熱赤外画像。

次に、それぞれの建物の屋根における被害状況を、空撮可視画像から表1に示す基準に従い無被害、一部損壊、半壊、大規模半壊、全壊の5つのレベルに目視により分類した。この数値は、内閣府で実際に用いられている基準を参考に、独自に定めたものである。なお、ブルーシートが掛けられている箇所も損壊面積として計算している。

建物輪郭内の被害に着目するために、熱赤外画像から輪郭内の温度分布を抽出する。また、温度分布の空間変動を見るため、建物輪郭内における温度勾配を計算した。温度勾配の計算に用いるウィンドウサイズは3 x 3 pixelであり、温度勾配が大きいほど隣接するピクセルとの温度の差が大きくなることを示す。これらを用いて、温度分布と被害との関係を建物ごとに検討する。また、建物(屋根)被害と屋根表面温度との関係を把握するため、被害区分ごとの平均温度・平均温度勾配の累積分布を作成する。ArcGISを用いて、建物輪郭内におけるそれぞれの平均値を算出する。ArcGISにより生成されるdxfファイルから、建物被害ごとに建物平均温度・平均温度勾配の累積分布を作成する。

4. 研究成果

(1) 可視画像による被害の目視判読結果

図3に北条地区の建物被害判定結果を示す。図3を見ると、被害の大きい建物が連続して分布しており、竜巻の経路を概ね推定することができる。なお、この結果は建物の屋根の状況のみで被害を判断しているため、側面に大きな被害を受けているものの、無被害と判定されている建物がいくつか存在する。また、ブルーシートを損壊面積としているため、つくば市が発表している被害判定結果とは結果がやや異なっている。しかし、本研究では屋根の被害・温度状況が大きく影響してくるため、この結果を建物被害データとして用いることとする。無被害地域であるArea 1、および被害地域であるArea 2について検討を行う。

(2) 無被害地域における建物の表面温度特性



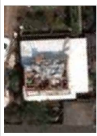

図4aは、図3におけるArea 1について拡大した可視画像であり、図4bはその目視による被害判読結果である。昼夜の各熱赤外面像から建物輪郭内の温度を抽出し、可視画像と重ね合わせたものを図5に示す。また、温度勾配を計算した結果を図6に示す。なお、可視画像と熱赤外面像は解像度が異なり、建物の位置が完全には一致しないため一部建物以外のピクセルも含んでいる。

図5aの建物輪郭内における昼間温度画像を見ると、高い温度と低い温度の建物が混在しているが、全体的に高い温度のものが多くわかる。一方図5bの夜間温度画像では、ほとんどの建物において温度の差がなくなり、全体的に似た温度となっていることがわかる。また、昼間において低い温度を示す建物は、夜間においても温度が低いままであることがわかる。

図6は温度勾配画像である。温度勾配の計算では隣接ピクセルとの差分により計算するため、建物以外のピクセルを含んでいる場合温度勾配が大きくなることがある。図5aの昼間における温度勾配画像を見ると、ほとんどの建物の外周部が黄色からオレンジ色の比較的高い値で示され、周囲との温度変化が大きいことが分かる。これは、建物周囲と屋根では材質が異なるためであるといえる。図6bの夜間の温度勾配画像では、いくつかの建物の輪郭付近が道路や植生の影響を受けて赤く示されており、材質が異なることによる影響であることが分かるが、これら建物外周部の影響はここでは無視するものとする。夜間では、多くの建物が紫色で示す低い値を示しており、建物輪郭内の表面温度が昼間より均質であることがわかる。

(3) 被災地域における建物の表面温度特性

表1 目視による建物被害判定基準

建物被害	一部損壊	半壊	大規模半壊	全壊
屋根損壊率R $R = \frac{\text{屋根損壊面積}}{\text{屋根面積}}$				
	$0\% < R \leq 20\%$	$20\% \leq R < 50\%$	$50\% \leq R < 70\%$	$R \geq 70\%$

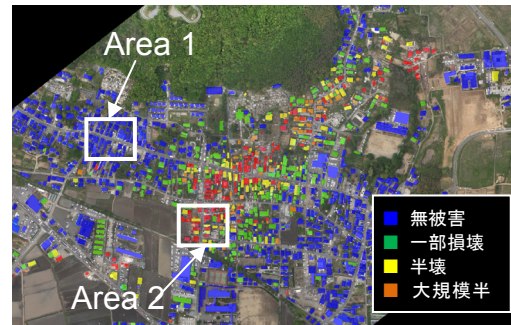


図3 目視による被害判読結果



図4a: 無被害地域における空撮可視画像, b: 同地域における被害判読結果

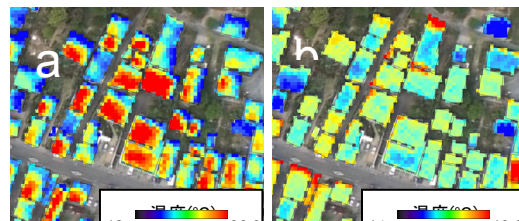


図5 無被害地域における建物表面(屋根)温度, a: 昼間, b: 夜間。

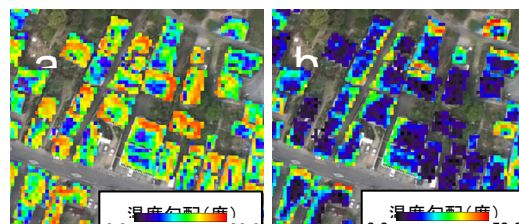


図6 無被害地域における建物表面(屋根)温度勾配, a: 昼間, b: 夜間

次に、竜巻による被害の大きい図3のArea 2について検討を行う。図7-9は、同様の方法で作成した可視画像、表面温度画像、温度勾配画像である。この地域は、可視画像から分かるように、倒壊したり、屋根にブルーシートが掛けられ被害を受けたことを示す建物が多い。図8aの昼間における建物の表面温度画像を見ると、比較的被害の少ない建物は

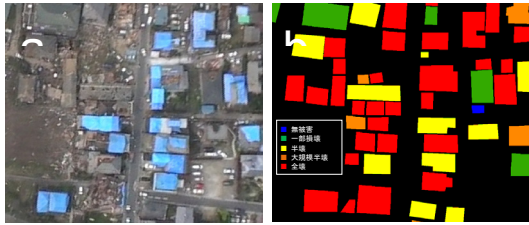


図 7 a : 被害地域における空撮可視画像, b : 同地域における目視被害判読結果.

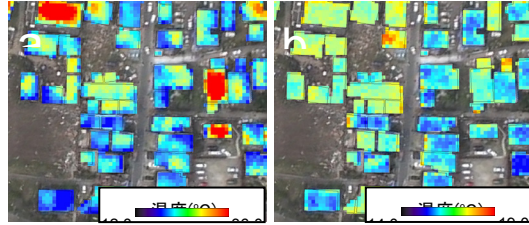


図 8 被害地域における建物表面（屋根）温度, a : 昼間, b : 夜間.

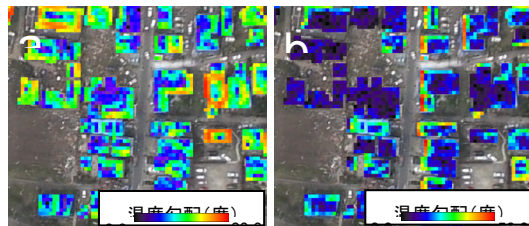


図 9 被害地域における建物表面（屋根）温度勾配, a : 昼間, b : 夜間.

温度が高いが、倒壊した建物、ブルーシートが掛けられた建物は温度が低くなっていることが分かる。図 8b の夜間における温度画像では、無被害地区の事例と比較して温度が下がっていることが分かる。また、昼夜通して全体的に温度が低くなっており、被害のある建物は被害の無い建物と比較して温度特性が異なることが確認された。

図 9a の昼間における温度勾配画像を見ると、全体的に紫から青で示された温度変化の低い建物が多く見られる。また、建物外周部に温度変化が大きい箇所が少ないことが分かる。これは、建物の崩壊により瓦礫がもとの建物輪郭外に広がり、周囲との温度差が小さくなったことが挙げられる。また、屋根が崩壊して鉛直方向から見える範囲に太陽が当たらなくなり温度上昇が抑えられた、さらに解像度の低い熱赤外画像では多くのものがミクセル (Mixed-pixel) 化し、均一となったことも要因として挙げられる。とくにこの特性は図 9b における画像左上の建物群で顕著であり、全域が低い値で表示されている。この建物は可視画像を見てもわかるように、建物が崩壊して瓦礫が周囲へと広がり、土と良く似た状態となっていることが確認できる。現地調査からも、これらの瓦礫は砂埃を多くかぶっており、土のような表面の状況にあることを確認している。建物崩壊時におけるこのような特性を利用することにより、熱

表 2 被害レベルごとの建物棟数

	無被害	一部損壊	半壊	大規模半壊	全壊
建物棟数	1474	208	112	62	146

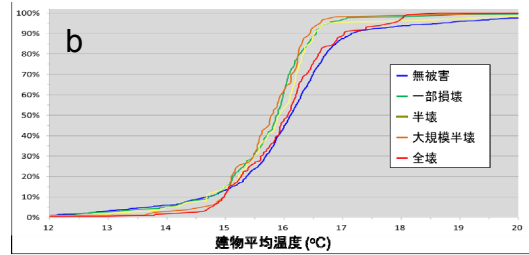
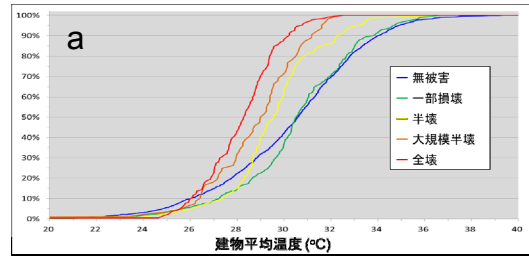


図 10 被害レベルごとの建物輪郭内における平均温度の累積分布, a : 昼間, b : 夜間.

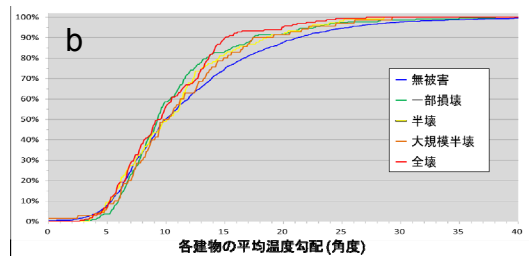
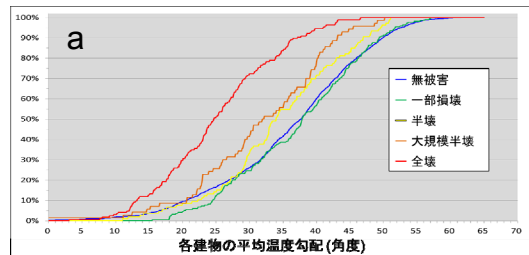


図 11 被害レベルごとの建物輪郭内における平均温度勾配の累積分布, a : 昼間, b : 夜間.

赤外画像を用いて、災害時における建物被害を迅速に把握できる可能性が示された。

無被害建物の事例においても夜間の温度勾配画像では建物輪郭全面に変化のない建物がいくつか確認できるが、表面温度画像を見るとその温度特性は異なっており、これらの 2 種類の画像を用いることで建物被害を判断できる可能性がある。

(4) 建物平均温度・勾配の累積分布

図 10 は、昼夜それぞれの建物輪郭内の平均温度を計算し、被害レベルごとに平均温度の累積分布を描いたものである。図 11 は、昼夜それぞれの建物輪郭内における温度勾配の平均による累積分布である。なお、温度

勾配の単位は角度である。また、被害レベルごとの建物総数を表2に示す。ここでは北条地区以外の建物も数に含めている。

図10aの昼間における累積分布を見ると、無被害の建物は20°Cから40°Cの範囲にわたって広く分布していることが分かる。被害を受けた建物は25°Cから34°Cの狭い範囲で表示されており、被害の程度が高くなるほど平均値が低下し、それぞれの平均値を中心に温度が密集する傾向にあることが分かる。全壊の建物に関してはさらに狭い範囲で示され、平均値が無被害建物と比較して2°Cほど低下していることが確認できる。これは、ブルーシートによる表面温度の低下や、屋根が瓦礫化することによって太陽光による熱が伝わりづらくなり温度上昇が抑制されたこと、また竜巻や建物崩壊時の多量の砂埃によって表面が覆われたためであると考えられる。解像度が高い熱赤外面像であれば、瓦礫の温度分布は空間的にばらつくと考えられるが、今回用いた空撮熱赤外面像の解像度は約1.54mであるため、多くの瓦礫がミクセル化し、温度分布が均一となったといえる。

図10bの夜間における累積分布を見ると、昼間のものと比較して範囲が大幅に狭まり、ほとんどの建物が15°Cから17°C付近の範囲に密集していることがわかる。全壊の建物に関しては、他の累積分布と比較してグラフの立ち上がりやや遅く、狭い範囲で示されていることがわかる。夜間における被害を受けた建物の累積分布は、平均値にほとんど違いは確認されなかったものの、昼間と同様に表示範囲がやや狭くなる傾向が確認された。

図11aの昼間の温度勾配平均では、被害のある建物は図10aの昼間における平均温度の事例と比較してやや広く分布しているが、概ね類似した分布特性を持つことがわかる。図11bの夜間における温度勾配平均では、低い値に多くが密集しており、分布特性が異なることがわかる。こちらの累積分布も温度平均によるものと同様に、被害のある建物は無被害の建物と比較してやや範囲が狭くなる傾向が確認された。しかしながら、夜間における被害の有無による差異はわずかなものであり、1つの要素から被害を評価することは極めて難しい。表面温度画像、温度勾配画像、可視画像など複数の画像を総合的に考慮することにより、昼夜を問わず定量的に被害を評価する可能性が示唆される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

① 花田大輝, 山崎文雄, ASTER 熱赤外面像を用いた2011年東日本大震災における津波

被害把握, 日本地震工学会論文集, 査読有, Vol.12, No.6(特集号),2012, pp.63-72

[学会発表] (計6件)

①D. Hanada, K. Suzuki, F. Yamazaki, Damage detection of the May 6, 2012 tornado in Tsukuba, Japan using aerial thermal infrared images, Proc. 33rd Asian Conference on Remote Sensing, 2012年11月27日, Pattaya Beach, Thailand

②鈴木賢太郎, 花田大輝, 山崎文雄, 2012年つくば市竜巻の現地調査と空撮可視画像を用いた建物被害判読, 日本リモートセンシング学会 第53回学術講演会, 2012年11月20日, 東広島市

③花田大輝, 鈴木賢太郎, 山崎文雄, 空撮熱赤外面像を用いた2012年つくば市竜巻による建物被害把握, 日本リモートセンシング学会 第53回学術講演会, 2012年11月20日, 東広島市

④花田大輝, 山崎文雄, 熱赤外面像を用いた地震被害把握を模擬した試み, 日本リモートセンシング学会第50回学術講演会, 2011年5月26日, 東京都

⑤D. Hanada, F. Yamazaki, Detection of the flooded area by tsunami using satellite thermal infrared images, Proc. 32nd Asian Conference on Remote Sensing, 2011年10月4日, 台北市, 台湾

⑥花田大輝, 山崎文雄, ASTER 熱赤外面像を用いた津波被害把握, 日本リモートセンシング学会第51回学術講演会, 2011年11月10日, 弘前市

[その他]

ホームページ等

<http://ares.tu.chiba-u.jp/~papers/index.htm>

6. 研究組織

(1)研究代表者

山崎 文雄 (YAMAZAKI FUMIO)
千葉大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 50220322

(2)研究分担者

丸山 喜久 (MARUYAMA YOSHIHISA)
千葉大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 70397024

(3)連携研究者

なし