

# 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

## Building Damage Detection due to the 2012 Tornado in Tsukuba City Using Aerial Thermal-Infrared Images

○花田大輝<sup>1</sup>・鈴木賢太郎<sup>2</sup>・山崎文雄<sup>3</sup>

Daiki Hanada, Kentaro Suzuki and Fumio Yamazaki

**Abstract:** In this study, detection of building damage was carried out from the aerial thermal infrared (TIR) images taken over Tsukuba City on May 8, 2012 (two days after the tornado hit) in the daytime and nighttime. The TIR images and the temperature gradient images that were calculated from them were extracted for each building footprint, and were compare with the damage status extracted from a visible image. It was confirmed that the temperature characteristics of non-damaged and damaged buildings show some difference. From the cumulative distribution of the average temperature within each building footprint, the average temperature for collapsed buildings was found to be in a narrower range than that of non-damaged buildings. It is expected that aerial thermal infrared images can provide useful information in early damage detection, especially at nighttime.

**Keywords:** Tomado, Aerial Thermal Infrared Image, Temperature Distribution, Damage Detection, GIS

### 1. はじめに

2012年5月6日、茨城県、栃木県の複数の箇所においてほぼ同時刻に竜巻が発生した。これらの竜巻により、被害範囲は狭いが甚大な物的被害と、一部で人的被害も発生した。竜巻の発生予測は難しく、発生後の早期警報と、迅速な緊急対応が極めて重要となる。我国の災害把握には航空リモートセンシングが多く用いられており、地上からのアクセスが困難な地域や被害が広範囲に及ぶ場合などに大きな力を発揮している<sup>1)</sup>。災害による被害の把握は、可視画像による目視判読が容易であるが、多くの画像が太陽光に依存するため夜間においては撮影することが難しく、空白の時間が生じてしまう。一方、熱放射を観測する熱赤外センサは太陽光に依存せず、昼夜関係なく利用することが可能であるため空白の時間をなくすることができる。2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震においては、衛星熱赤外面像の表面温度差を利用した津波湛水域の把握が可能であることを示した<sup>2)</sup>。このように通常時とは異なる温度分布によって把握が可能な被害もあり、建物が瓦礫化することで表面温度の分布や特性が変化し、被害を把握できる可能性もある。

本研究では、昼夜それぞれの熱赤外面像による建物の表面温度分布により、被害建物の把握を試みる。まず、空撮可視画像から建物輪郭を抽出し、目視により建物被害を判読する。次に温度画像から温度勾配を計算し、これらを建物輪郭内で抽出する。これらの画像を可視画像と重ね合わせて、被害程度との関係を把握する。また建物輪郭内の平均温度を計算し、被害程度ごとの累積分布図を作成することで、被害建物の温度特性を把握する。

### 2. 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(Fig. 1)。竜巻発生後に撮影した熱赤外面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、昼夜の熱赤外面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

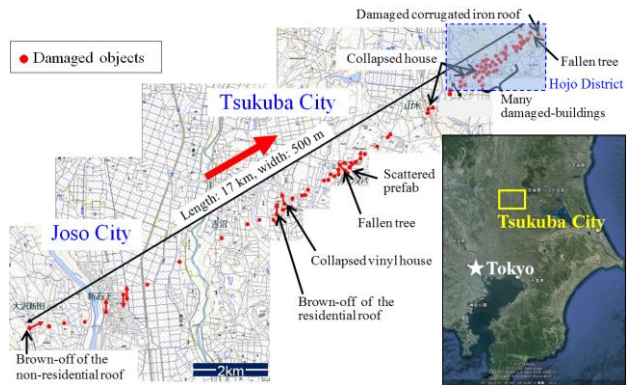


Fig. 1 Detail map of the tornado's path and resultant damages, modified from Japan Meteorological Agency<sup>4)</sup>.

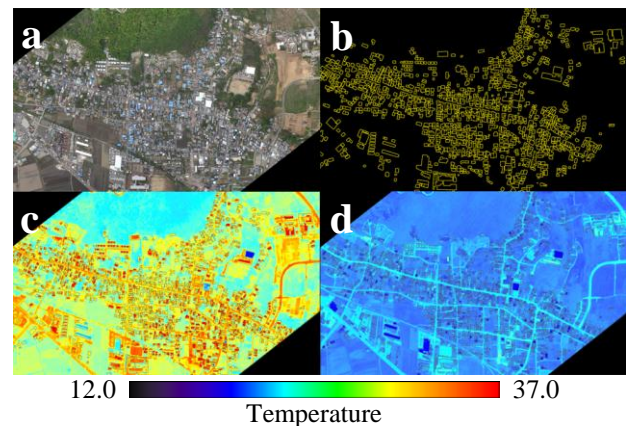


Fig. 2 Visible image of Hojo district in Tsukuba City at daytime (a), building footprints created from Figure 2a (b), TIR image at daytime (c), and TIR image at nighttime on May 8, 2012 taken from helicopter.

<sup>1</sup>学生会員 千葉大学 大学院工学研究科 建築・都市科学専攻

<sup>2</sup>学生会員 千葉大学 工学部 都市環境システム学科

<sup>3</sup>正会員 千葉大学 大学院工学研究科 建築・都市科学専攻

(所在地 〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町1-33)

(連絡先 Tel: 043-290-3528 E-mail: d.hanada@chiba-u.jp)

460m でほぼ垂直に撮影した。撮影された画像を Fig. 2 に示す。Fig. 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、表面温度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。Fig. 2d は、同日の 19:30 頃に撮影した夜間表面温度画像である。Fig. 2b は Fig. 2a から作成した建物輪郭データであり、昼夜それぞれの表面温度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。

### 3. 研究方法

熱赤外面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から、ゼンリンの GIS データも参照して、建物輪郭データを作成した。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を用いて、Table 1 に示す内閣府の基準<sup>4)</sup>に従い目視により分類した。この詳細については関連論文<sup>5)</sup>を参照されたい。

建物輪郭内の被害に着目するために、表面温度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、温度画像から温度勾配<sup>6)</sup>を計算し、屋根相当部分の温度勾配のみ抽出した。温度勾配の計算に用いるウインドウサイズは 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の累積分布を作成する。ArcGIS を用いて、建物輪郭内の平均温度を昼夜それぞれ算出する。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の累積分布を作成する。





### 4. 検討結果

#### 4.1 無被害地域における建物の表面温度特性把握

Fig. 3 に北条地区の建物被害判定結果を示す。まず、無被害地区における建物について検討する。Fig. 4a は、Fig. 3 における Area 1 について拡大した可視画像であり、Fig. 4b はその目視による被害判読結果である。昼夜の各表面温度画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 Fig. 5 に示す。また、表面温度画像から温度勾配を計算し、建物輪郭内について抽出したものを Fig. 6 に示す。

Fig. 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 Fig. 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無くなり、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

Table 1 Damage classification to wooden houses by Cabinet Office of Japan and sample aerial photos<sup>5)</sup>

Damage Grade	G5	G4	G3	G2
Damage ratio of roof/floor area	$R \geq 70\%$	$50\% \leq R < 70\%$	$20\% \leq R < 50\%$	$0\% < R \leq 20\%$
Sample aerial photo				

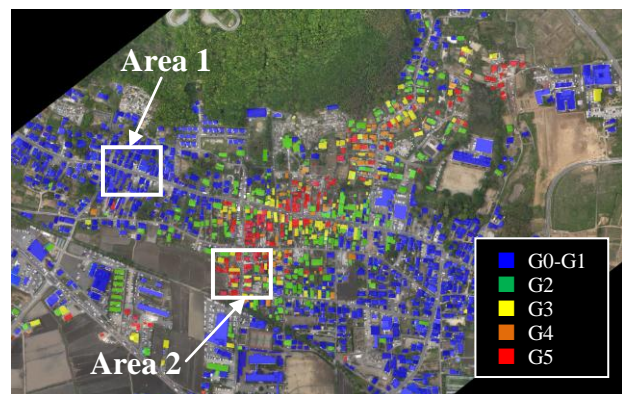


Fig.3 Damage classification result by our visual inspection of the daytime aerial visible image<sup>5)</sup>



Fig.4 a: Aerial visible image of non-damaged area, b: Damage classification in the same area.

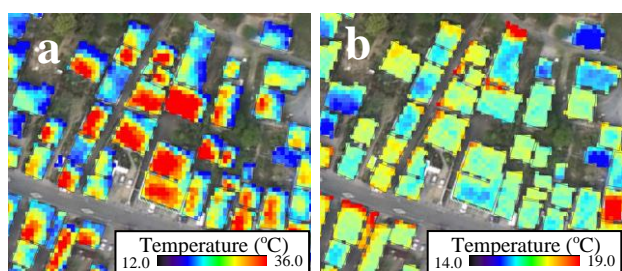


Fig.5 Surface temperature image of non-damaged area, a: Daytime, b: Nighttime.

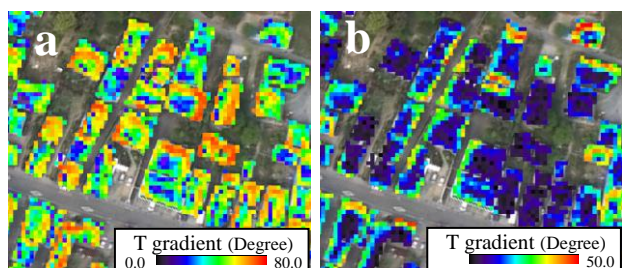


Fig.6 Temperature gradient of the non-damaged area, a: Daytime, b: Nighttime.

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。

Fig. 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、建物のみ抽出した場合においても周囲との温度差の影響が出る。Fig. 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。Fig. 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。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。

#### 4.2 被災地域における建物の温度特性把握

次に、竜巻による被害の大きい Fig. 3 Area2 について検討を行う。Fig.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。Fig. 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。Fig. 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。

Fig. 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化し、均一となったことも要因として挙げられる。特にこの特性はFig. 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、表面温度画像を用いて、災害時における建物被害を迅速に把握で

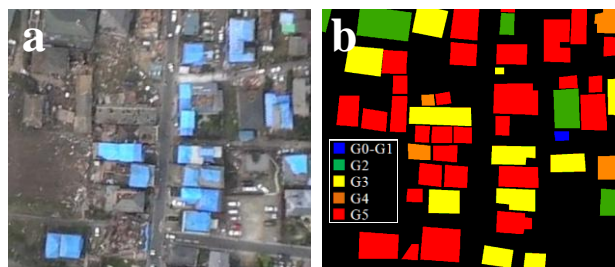


Fig.7 a: Aerial visible image of heavily-damaged area, b: Visual damage classification result of the area.

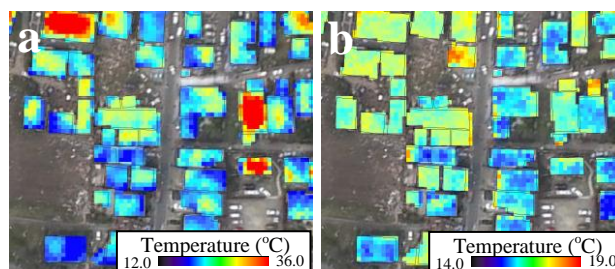


Fig.8 Surface temperature image of the heavily-damaged area, a: Daytime, b: Nighttime.

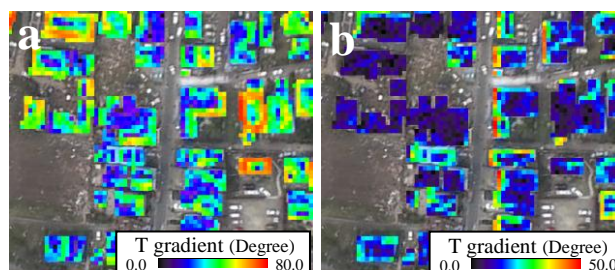


Fig.9 Temperature gradient of the non-damaged area, a: Daytime, b: Nighttime.

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。また、夜間では温度変化の幅が大幅に減少するため、表示範囲を狭めるなど、より定量的に評価する方法を検討する必要がある。

#### 4.4 被害レベルごとの建物平均温度の累積分布

Fig. 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。被害レベルごとの建物総数をTable 2に示す。なお、ここでは北条地区以外の建物も数に含めている。

Fig. 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示され、平均値が無被害建物と比較して 2℃ほど低下していることが確認できる。これは、屋根が崩壊し瓦礫化したため、太陽に照らされず表面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。

Fig. 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℃から 17℃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傾斜の立ち上がりがやや遅く、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狭くなる傾向が確認された。これらの特性により、熱赤外面像を用いた定量的な建物の被害把握の可能性も示唆される。

## 5. まとめ

本研究では、2012 年 5 月 6 日につくば市に被害を与えた竜巻の 2 日後に取得した空撮熱赤外面像を用いて、建物被害の把握を試みた。まず建物輪郭データを作成し、事後空撮可視画像から建物被害を目視判読した。表面温度画像から温度勾配を計算し、建物輪郭内の温度分布、温度勾配を抽出した。無被害地区と甚大被害地区の建物の温度画像、温度勾配画像を比較することによって、両者の温度分布の違いを検討した。その結果、無被害建物では表面温度が一般的に高く個別の差異が大きいのに対し、被害建物では温度が下がり、個々のばらつきも小さい傾向にあることが確認された。建物屋根の表面温度は、材質、色、勾配、日照条件により大きな影響を受けるが、温度画像と温度勾配画像を組み合わせることで、とくに被害が屋根に現れる竜巻や台風による被害把握への利用が期待される。

被害レベルごとに建物輪郭内の平均温度の累積分布を作成した結果、昼夜ともにそれぞれの被害建物分布は平均値付近に密集し、一様に近い値を取ることが確認された。これは屋根の崩落により鉛直方向から見える範囲に太陽光が当たらず表面温度上昇が抑えられた、また瓦礫や砂埃などによる影響、熱赤外面像の低い解像度によるミクセル化などの影響であるとの結論に達した。

今後の課題として、温度画像、温度勾配画像、建物被害ごとの温度の累積分布による屋根の温度特性

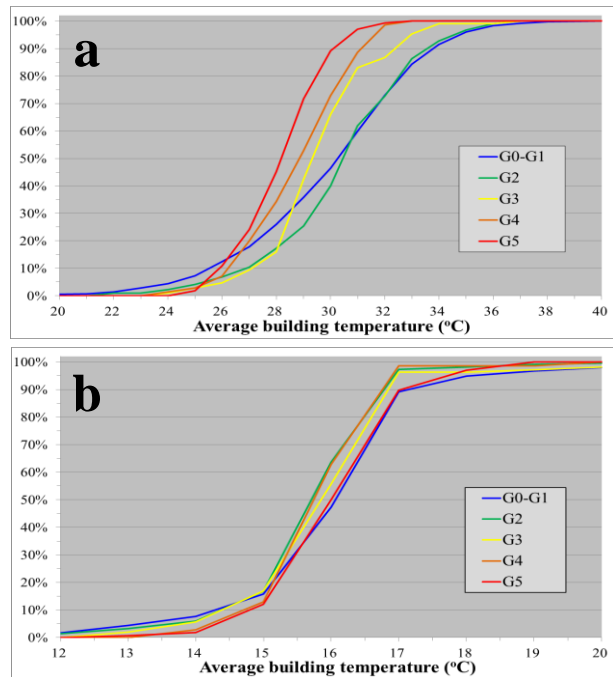


Fig.10 Cumulative distribution of average temperature within building footprint for each damage level, a: Daytime, b: Nighttime.

Table 2 Total number buildings for each damage level

	G0-G1	G2	G3	G4	G5
Number of Buildings	1474	208	112	62	146

を総合的に判断し、定量的な被害把握方法を構築する必要がある。屋根の温度特性を把握することで、事前可視画像と事後表面温度画像を比較し、温度分布から建物上面の被害を判定する方法を構築したいと考えている。また、今回は建物に注目したが、道路は材質が均一で連続しているため被害把握がより容易であると考えられる。これらの被害把握手法の構築により、今後の災害において、とくに夜間における空撮熱赤外面像を用いた迅速な被害把握へと繋げていきたい。

## 【参考文献】

- 1) 三富創, 松岡昌志, 山崎文雄: 最近の地震災害の空撮画像を用いた建物被害地域の自動抽出の試み, 土木学会論文集, No. 703/I-59, pp. 267-278, 2002.
- 2) Hanada, D., and Yamazaki, F.: Detection of the flooded area by tsunami using satellite thermal infrared images, 32nd Asian Conference on Remote Sensing, Paper No. 229, CD-ROM, 6p, 2011.
- 3) 気象庁: 平成 24 年 5 月 6 日に発生した竜巻について (報告), URL: <http://www.jma.go.jp/jma/press/1206/08b/toppu120608.html>
- 4) 内閣府: 災害に係る住家の被害認定基準運用指針, URL: <http://www.bousai.go.jp/hou/pdf/shishinall.pdf>
- 5) 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, 第 52 回学術講演会論文集, 日本リモートセンシング学会, 2012.
- 6) ArcGIS resource center, How Slope works, URL: <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#na/009z000000vz000000/>