

ドローンにより収集した熱赤外面像と可視画像を用いた 空き家分布推定手法の研究

秋山祐樹*・飯塚浩太郎**・谷内田修***・杉田暁****

Study on a Method for Estimating the Spatial Distribution of Vacant Houses Using Thermal Infrared Images and Visual Images Collected by a Drone

Yuki AKIYAMA*, Khotaro IIZUKA**, Osamu YACHIDA***, Satoru SUGITA****

The aim of this study is to support the monitoring of the spatial distribution of vacant houses which has become a problem in recent years in local governments throughout Japan. By developing a device with higher performance than that used in our previous studies which combines a drone and a thermal infrared camera, we have clarified the feasibility and problems of a method for quickly and inexpensively investigating the distribution of vacant houses using the device. The result shows the possibility to monitor detailed heat distribution in broad areas. In particular, we confirmed that the night light and the distribution of heat observed after sunset in winter are useful for determining non-vacant houses. In addition, since we constructed a full 3D model, this study showed the possibility of high-precision vacant house determination using wide-area 3D modeling regardless of daytime or nighttime.

Keywords: 空き家 (vacant house), ドローン (drone), 熱赤外面像 (thermal infrared image), 夜間光 (night light), 排熱 (heat emission)

1. はじめに

近年、日本では全国的に空き家が増加し続けている。空き家の増加は、空き家が防災・防犯上のリスクになることや、景観への悪影響となること、また地域全体の魅力・活力の低下につながるなど、近隣住民のみならず、地域全体に影響が波及していくリスクをはらんでいるとされる(浅見, 2014)。

こうした背景を受けて、平成27年5月から「空家等対策の推進に関する特別措置法」が全面施行され、自治体は同法に基づいて空き家対策の取り組みを進めている。また、同法では空き家の分布状況に関する情報の把握と、データベースの整備が自治体の努力義務として定められている。しかし、空き家の空間的分布を把握する手法は、現状では1棟1棟を個別に訪問し、外観を見て判断する戸別目視が中心である。そのため広域の空き家分布を把握するためには多大な労力と時間、そして費用を要している状況

にある。このことが自治体において空き家対策の取り組みを進めていく上で大きな障壁となっている。

この課題に対して、多くの先行研究において空き家の空間的な分布把握が試みられている。しかしその手法の多くは、限定された地域を対象とした個別目視やアンケート調査が中心となっている(益田・秋山, 2020)。そのため、前述の課題への対応は困難であるといえる。

1.1. 著者ほかによるこれまでの研究

そこで著者ほかは、住民基本台帳や水道使用量といった自治体が管理しているデータ(公共データ)を活用して、広域を対象とした空き家分布把握に関する研究も実施しており、相当高い精度で空き家の分布推定が可能になりつつある(Akiyama et al., 2020)。一方、公共データは個人情報を含むため、自治体の様々な担当課を跨りながら複数の公共データ

* 正会員 東京都市大学建築都市デザイン学部都市工学科 (Tokyo City University)
〒158-0087 東京都世田谷区玉堤1丁目28-1 Tel: 03-5707-0104 E-mail: akiyamay@tcu.ac.jp

** 非会員 東京大学空間情報科学研究センター (The University of Tokyo)

*** 非会員 前橋市政策部未来の芽創造課 (Maebashi City)

**** 非会員 中部大学国際GISセンター (Chubu University)

を収集することは容易ではない場合も多い。そのため、同手法は物理的には全国の自治体で適用が可能なものの、個人情報に関する法令等の制度上の制約により、必ずしも全ての自治体で容易に適用可能な手法とは現時点では言えないという課題がある。

そこで著者ほかは、公共データを使用することなく空き家の分布を把握する手法として、ドローンと熱赤外カメラを組み合わせた機器を活用することで、迅速かつ安価に空き家の現地調査を実施する手法の検討を行った（秋山ほか, 2019）。その結果、ドローンにより収集した熱赤外画像と可視光画像を用いることで、空き家か非空き家かの判定をある程度可能であることが分かった。ただし、秋山ほか（2019）で使用した熱赤外カメラ（Flir One Pro（Flir Systems 社））は解像度が不十分であったため、上空から広範囲を対象とした建物ごとの空き家判別は困難であり、より高解像度なカメラを用いた撮影が必要であることが分かった。また、可視光（特に夜間光）を併用することで、空き家の判定精度を向上させることができる可能性が明らかとなった。

1.2. 本研究の目的

そこで本研究では秋山ほか（2019）の研究の発展的研究として、以上に挙げた課題の解決に取り組むことで、ドローンを活用して迅速かつ安価に空き家の分布推定を行う手法を更に高度化することを目的とする。具体的にはドローンに搭載した高解像度カメラを用いて、対象となる建物の熱分布と可視画像を撮影することで、建物単位で居住者の生活に由来する熱や光等の発生を把握し空き家か否かの判定を行う。また、将来的な広域観測のためのフィージビリティスタディとして、直下および斜め撮影の成果を組み合わせたモデル（建物形状の3次元的な把握）の試作を行った。

2. 研究対象地域

本研究の研究対象地域を設定するためには、まず実際に空き家がある程度の数分布している地域を把握する必要がある。そこで、群馬県前橋市（以下「前橋市」）の協力の下、前橋市が2017年度に調査を実

施した前橋市全域の空き家分布に関するGISデータ（前橋市の現地調査による空き家分布を表すポイントデータ）を用いて、研究対象地域を決定した。本研究における研究対象地域の条件は、ある程度の数の空き家と非空き家状態の住宅が分布しており、またその近隣にドローンを飛行することが可能な場所を有する地域である必要がある。そこで、以上の条件を鑑み、図1に示す3つの地域を研究対象地域として設定した。

- ① 前橋市立旧中央小学校：JR前橋駅に近いが、周辺は空き家が散在する古くからの住宅地となっている。
- ② 中央イベント広場：前橋市の中心市街地に分布する。周辺はアーケードを有する商店街や一部中高層の業務ビル、商業ビルが混在する商業地域である。
- ③ 前橋工科大学：前橋市郊外に分布する市保有の大学。将来的な広域観測の可能性を検討するための3Dモデルを作成するフィールドとして使用した。

なお研究代表者らはドローン飛行許可の包括申請を申請済であるため、以上①～③の何れの地域においてもドローンの飛行が可能である。また前橋市役所より以上①～③の地域におけるドローン飛行の許可を得た上で実施した。



図1 本研究の研究対象地域。全て群馬県前橋市内に分布する。なお前橋工科大学は前橋駅から南南東に約2.3km離れた場所に位置するため、図1最上の地図内には表示されていない。

3. 調査用機器

本研究では秋山ほか（2019）で使用した機器（ドローン：DJI 社 Phantom4 Pro・熱赤外カメラ：Flir Systems 社 Flir One Pro）よりも高性能なドローン（DJI 社：Matrice 210）と熱赤外カメラ（DJI 社：Zenmuse-XT2）を導入した（図 2）。



図 2 本研究の調査用機器

3.1. 本研究で使用するドローンの特徴

本研究で使用するドローン（Matrice 210）の特徴は以下の通りである。まず、2 対のバッテリーで稼働するとともに、バッテリーのエラーも自己診断できるため、墜落するリスクが従来の機器と比べて大幅に小さく抑えられている。また、常にパイロット側に機体情報が送られるため、フライト中の異常発見が容易になっている。さらに、万が一、ドローンからパイロット側への伝送が途切れたとしても、機体の自己判断により自動的にフライト地点に戻ってくることが可能である。このように秋山ほか(2019)で用いた機器と比べて、伝送システムや安全面に関するシステム周りが大幅に強化されている。

3.2. 本研究で使用する熱赤外カメラの特徴

本研究で使用するカメラ（Zenmuse-XT2）の特徴は以下の通りである。まず解像度は可視光で 4000×3000（4K）/ 8mm、熱赤外で 640×512 / 19mm である。これは昨年度の機器（Flir One Pro：可視光 155 万画素、熱赤外 160×120（1.92 万画素））の性能と比べて大幅に向上している。

4. 撮影の実施

本研究ではまず夏期と冬期において、日中の熱の分布および、夜間の熱と光の分布を撮影することで、建物単位の空き家推定ができるか否かを検討する。また、将来的な広域観測の可能性を検討に向けた 3D モデル作成のための撮影も実施した。それぞれの撮影方法は以下の通りである。

4.1. 建物単位の空き家推定の実現可能性を検討するための撮影

様々な状況・条件で撮影し、時系列的な熱や光の

状況を把握することで、建物単位の空き家推定ができるか否かを検討するために実施した。対象地域は住宅地が卓越する研究対象地域 1（旧中央小学校）および、商業地域である研究対象地域 2（中央イベント広場）とした。夏期（2019 年 9 月 9 日）と冬期（2020 年 1 月 14 日）の昼間と日没後に、上空から可視光と熱赤外画像で直下および斜め撮影を行った。また、何れの日時場所も天候は概ね晴れであった。

なお本研究における撮影結果に基づく空き家判定のための仮説は以下の通りである。

仮説 1：夏期の非空き家の建物の場合、冷房の使用により、周囲よりも相対的に低温となるとともに、室外機からの局所的な排熱が観察できる。

仮説 2：冬季の非空き家の建物の場合、暖房の使用により、周囲よりも相対的に高温となり、特に窓など屋内からの排熱が顕著となる箇所が観察できる。

仮説 3：非空き家の場合、夜間に撮影することで建物から排出される夜間光を観察できる。

仮説 4：以上の条件が何れも合致しない建物は空き家である可能性が高い。

4.2. 将来的な広域観測の可能性検討に向けた 3D モデル作成のための撮影

研究対象地域 3（前橋工科大学）を対象に、前橋市および前橋工科大学の協力の下、冬期（2020 年 1 月 14 日）に校舎の利用者がいる時間帯（授業中）の日中および日没後に、大学の敷地全域を対象に上空から可視光および熱赤外画像の直下および斜め撮影を実施することで、3D モデルの作成を行った。なお天候は昼間が曇り、夜間は晴れであった。

5. 撮影成果

5.1. 研究対象地域 1 における撮影成果

まず、夏期は道路（アスファルト）による蓄熱が顕著であり、日中だけでなく日没後も長い時間に渡って道路からの排熱が観察された。そのため家屋の熱分布が周囲のアスファルトからの排熱に埋もれてしまい、外気と建物内の温度の差を把握することが困難なことが分かった。一方、夜間の可視画像（夜間光）は非空き家判定に利用できる可能性が高いことが分かった。市の調査によって空き家と判定されていない建物の多くから夜間光が観察された。

一方、冬期は道路の蓄熱も小さく、昼間に太陽で暖められた建物の壁面も日没後は冷却され、建物内部からの排熱が観察できることが分かった。特に窓に建物内部からの排熱の影響が顕著に現れた。さらに、夜間光は夏期と同様に空き家判定に有用な情報となった（図 3）。以上より、冬期の場合は排熱と夜間光の情報を組み合わせることで、空き家あるいは非空き家の判定ができる可能性を示すことができた。

5.2. 研究対象地域 2 における撮影成果

研究対象地域 1 と同じく夏期の熱画像は夜間でも利用が困難であったが、夜間光は有用であることが分かった。一方、研究対象地域 1 と同じく、冬期は建物からの排熱、夜間光ともに有用であることが分かった。また共同住宅の場合、部屋単位で居住者の有無を推定できることも分かった（図 4）。ただし、排出する光量が多い大規模な建物や道路照明が設置された道路に隣接する建物の場合、建物周辺の別の建物から排出される光の影響により、空き家でも非空き家のように見える場合があることも分かった。

5.3. 研究対象地域 3 における撮影成果

研究対象地域 3 では、研究対象地域 1、2 と異なり、将来的な広域観測に向けた検証として、直下の撮影と斜め撮影を組み合わせた 3D モデルの作成を試みた。なお、ここでいう将来的な広域観測とは、航空機を用いた広域観測であり、本研究でもそれを意識したフライトプランを作成し撮影を行った（図 5）。そして、研究対象地域全体の撮影結果を Structure

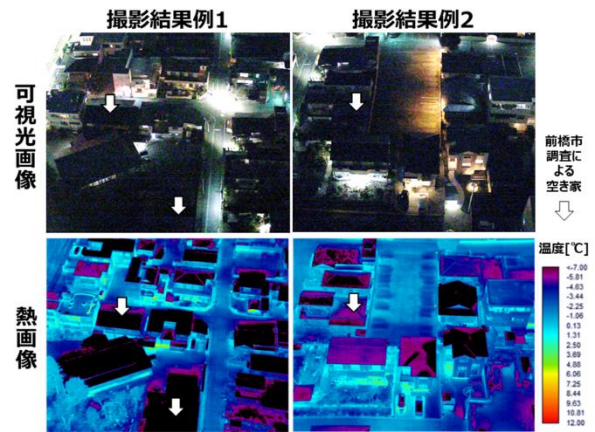


図 3 研究対象地域 1 の冬期夜間撮影の結果の例

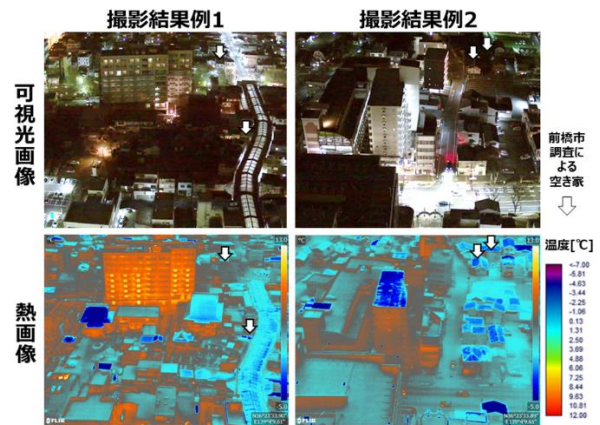


図 4 研究対象地域 2 の冬期夜間撮影の結果の例

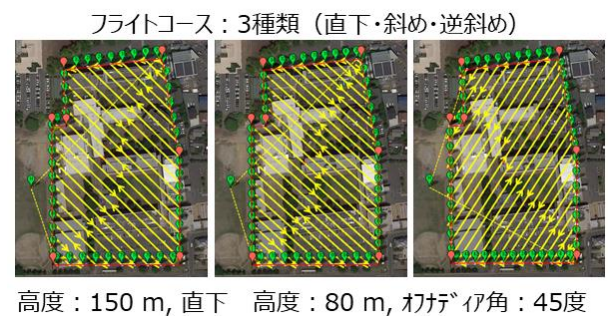


図 5 研究対象地域 3 におけるフライトプラン

from Motion (SfM) (Schönberger and Frahm, 2016) を用いて、昼間・夜間の 3D モデルを作成した。

図 6 に昼間と夜間の可視光および熱画像の 3D モデルの作成結果を示す。まず、可視光の 3D モデルから昼間および夜間の建物全体の状況を 3D で把握することが技術的に可能であることが確認された。また、熱画像の 3D モデルから、昼間の熱分布は太

陽光の影響が大きい南側の壁面が暖められて屋内からの排熱が分かりにくくなるものの、太陽光の影響が少ない北側壁面では窓などからの排熱が観察できた。さらに、夜間の熱画像の場合、太陽光の影響が無く建物や地面が十分に冷やされているため、屋内からの排熱を顕著に観察することができた。

以上より、本研究による撮影成果を SfM で加工することで、可視光および熱赤外の 3D モデルが構築できるようになった。この手法を対象地域 2 のような中高層の建物に遮られて観察ができなかった建物が分布するような地域に適用することで、対象地域全体の全ての建物の光と熱の分布を網羅的に把握可能になるものと期待される。

6. おわりに

本研究は秋山ほか（2019）の研究の発展的研究として、ドローンと熱赤外カメラを組み合わせた機器を用いることで、空き家の分布推定を迅速かつ安価に行う手法の更なる高度化を目的として実施した。また、将来的な広域観測のための技術的検討として、直下および斜撮撮影の成果を組み合わせた 3D モデルの試作を行った。その結果、以下の結果を得ることができた。

まず、本研究で用いた高性能な熱赤外カメラとドローンを組み合わせた機器は、空き家分布の把握・推定を行う上で有用であることが改めて明らかとなった。また、空き家判定を行う上で、特に冬期の夜間に撮影した熱画像が有用であることが分かった。ただし、温度の絶対値ではなく、建物周辺の温度との相対的な差に注目することが重要である。夜間光は夏期・冬期ともに空き家判定に有用な情報となった。さらに、研究対象地域 3 で示されたように、撮影の仕方次第では広域を対象とした昼間及び夜間の 3D モデルの構築が可能であることも分かった。

今後はより広域を対象とした撮影および 3D モデルの構築を進めるとともに、同じ対象地域で複数回の撮影を繰り返すことで、空き家判定精度の向上を図るとともに、技術的限界も明らかにすることで、本研究の技術を検討段階から実用の段階に昇華させることを目指したい。

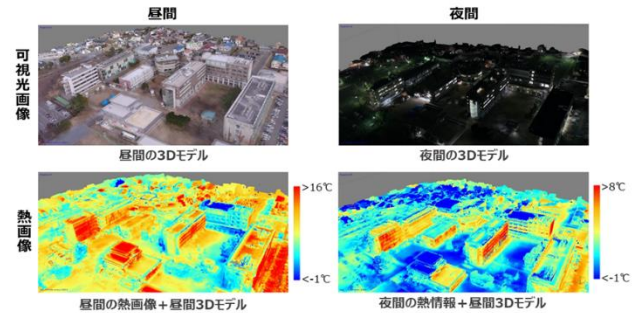


図 6 研究対象地域 3 における昼間と夜間の可視光および熱画像の 3D モデルの作成結果

謝辞

本研究は中部大学国際 GIS センター「問題複合体を対象とするデジタルアース共同利用・共同研究拠点 2019 年度共同研究」(研究課題番号:IDEAS201909)による共同研究の成果である。また、本研究は群馬県前橋市未来の芽創造課より前橋市の空き家調査データの提供を受けることで実現した。さらに、本研究で使用したドローンおよび熱赤外カメラは、公益財団法人住友財団 2018 年度環境研究助成の支援により調達が実現した。以上、ここに記して謝意を表したい。

参考文献

- 秋山祐樹・飯塚浩太郎・谷内田修・杉田暁（2019）ドローンにより収集した熱赤外画像と可視光画像を用いた空き家分布推定手法の基礎的研究,「第 28 回地理情報システム学会講演論文集」, F-2-3.
- 浅見泰司（2014）『都市の空閑地・空き家を考える』, プログレス.
- 益田理広・秋山祐樹（2020）日本国内における近年の空き家研究の動向,「地理空間」, **13**(1), 1-26.
- Akiyama, Y., Ueda, A., Ouchi, K., Ito, N., Ono, Y., Takaoka, H. and Hisadomi, K. (2020) Estimating the Spatial Distribution of Vacant Houses using Public Municipal Data. *Geospatial Technologies for Local and Regional Development*, 165-183.
- Schönberger, J. L. and Frahm, J. (2016) Structure-from-Motion Revisited. *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 4104-4113.