

令和2年度民間空き家対策東京モデル支援事業
(TOKYO Data Highway 等を活用した先端技術を駆使した空き家対策)
事業報告書

事業者名	空き家活用株式会社
事業の名称	リモートセンシングを活用した空き家調査の効率化に向けた先進事業について

1 事業の背景と目的

近年、日本では全国的に空き家が増加し続けている。そこで平成27年5月から「空家等対策の推進に関する特別措置法（空家対策特措法）」が全面施行され、各自治体は同法に基づいて空き家対策の取り組みに着手している。同法の中では空き家の空間的分布に関する情報の把握や、データベースの整備等が自治体の努力義務として定められている。そのため、この取り組みを進めていくためには、空き家の広域的な空間的分布を迅速かつ安価に、また継続的に調査をする手法が求められている。

また、当社では、空き家情報のデータベースである AKIDAS¹を整備し、自治体や不動産事業者等に空き家情報、謄本情報を提供しており、所有者移転や利活用などを促進している。

しかし、空き家の空間的分布の把握手法は、現状では個別目視（現地調査）が中心であるため、広域の空き家分布を把握することに多大な労力、時間、費用を要しているという課題がある。

そこで本研究では人工衛星及びドローンによって撮影された可視光カメラ・熱赤外カメラのデータを組み合わせた解析を実施し、空き家の現地調査を迅速に実施する手法を検討し、上述する課題の解決に資する成果を得ることを目的とする

2 事業の内容

(1) 事業の概要と手順

衛星写真を基に空き家を推測し、空き家調査の効率化を目指した。衛星写真により空き家を特定することについては、活用できるような結果が得られなかったため、空き家ではない場所を特定して効率的に調査を行うことが可能かということについても検証した。現地調査は車のデータから駐車場等空き家ではない場所を特定して調査を行った。すべてのエリアで衛星写真を使った調査と使っていない調査をするのは莫大なコストが掛かるため、立川市砂川七番駅周辺のみ衛星写真を使う調査と使わない調査を行った。また、衛星以外にドローンを使った調査も実施し可能性を模索した。

【手順】

¹ AKIDAS について

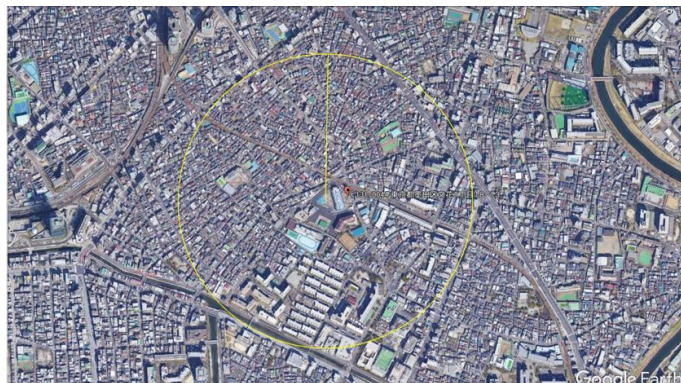
当社が運営する空き家情報データベースで、調査員が現地で確認した空き物件をデータ加工して掲載している。空き物件の外観画像や用途地域種などの情報が掲載されており、各種条件による検索も可能となっている。現在4万5千件以上のデータが公開されている。当社と契約しているクライアントのみが利用可能となっており、物件データを購入することで地番や所有者情報などの詳細情報を閲覧することができる。また、クライアントが所有者とのやり取りを記録できる機能により、情報を一元管理することが可能となっている。

1. 衛星データを取得（空き家を特定する仕組み→空き家以外を見つけることに）
2. 目視による空き家以外エリアの特定（後に AI に切り替える）
3. 都内全域実態調査（AKIDAS に準拠した調査）
4. 都内 4 箇所ドローンによる調査
5. ドローン調査エリアの実態調査（AKIDAS に準拠した調査）
6. 立川市砂川七番駅周辺にて衛星写真を使う調査と使わない調査し比較



画像 1（左）：DJI 社 Matrice210RTK（赤外線カメラ＋可視光カメラ同時運用可能モデル）

写真 1（右）：ドローン撮影の様子（墨田区）



画像 2：撮影エリアの例（ドローン飛行地点より約 500m 周囲）

（2）取組内容

① ドローンによる実証

ドローンに搭載した熱赤外線カメラと可視光カメラを用いて、対象となる建物の熱と光の分布を抽出することで、建物単位で居住者の生活に由来する熱と光の発生を把握し、空き家か否かの判定を行う。都内区市町村において、地域特性等の比較を行うため、「区部中心部の住宅地」、「木造住宅密集地域」、「多摩都市部」、「多摩郊外部」から 4 地域を選定することとした。選定した地域の各自治体の担当部署とドローン飛行に関する打ち合わせを実施し、最終的に許可が取れた以下のエリアとした。世田谷区エリア、墨田区エリア、立川市エリア、奥多摩町エリアの 4 地域で、予め空き家が分布する地域を候補地として選定し、上空約 75 m から約 15 度の角度で斜め撮影を冬季の日中と夜間（2020 年 12 月 21 日～24 日 10～18 時頃撮影）に実施した。

■ 飛行方法

- 高度 75m 付近上空まで上昇し、その場で 360 度回転しながら眼下を撮影する。
- 安全に配慮して、下記の飛行は行わなかった。
 - ・長距離の平行移動を伴う飛行
 - ・目視外の飛行

(ア) 可視光画像を用いた分析

各所にて撮影したデータを用いて、写真3のように可視光画像について、ピクセルを一定サイズのタイルに分割し、タイル単位で光の最大値を抽出後、閾値（245 以上）部分を抽出し、日中に撮影した画像と重ね合わせることで非空き家の状況を可視化した。

図1は、光学カメラで撮影した写真をピクセル単位で輝度を245以上(class1)とそれ以下(class0)で分けたもの。窓から漏れているかなり強めの光が輝度245以上であり、このclass1のピクセルを画像から抽出した。

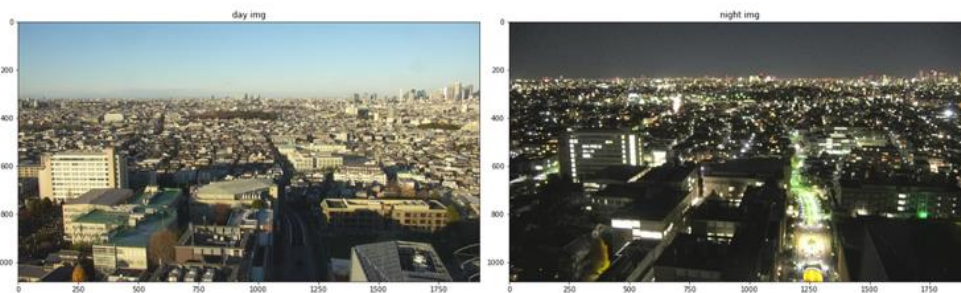


写真2（左）：昼間撮影

写真3（右）：夜間撮影

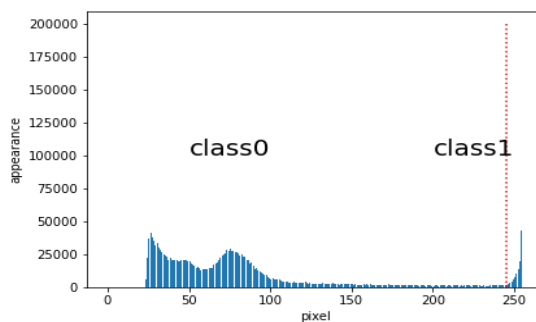
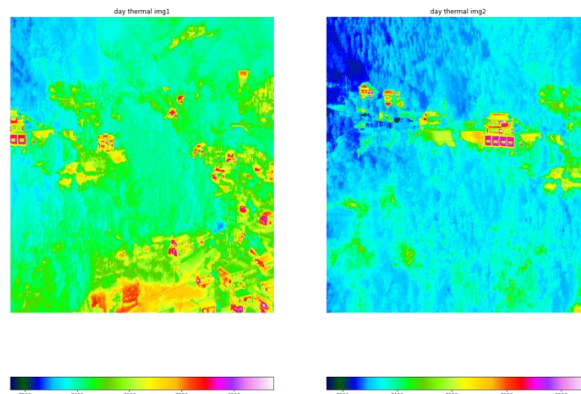


図1：ピクセル単位の輝度分布

(イ) 赤外線画像を用いた分析

赤外線画像については、家から漏れ出る熱を抽出できるという仮説から、画像2のように画像ごとの熱波長の分布をピクセル単位で色づけすることで、相対的な温度差を可視化した。



画像2：赤外線画像

(ウ) パノラマ化の試み

上記のような個別の画像（画角約30度）ではエリアごとの確認作業が大変なため、画

像をパノラマ化することで、可視化タスクを簡易化出来るのか検証した。今回の実証では元の画像自体に撮影時の歪みがあるため精度は低い（理由は後述）撮影精度を高めることが出来れば、対象エリアを少ない枚数の画像（画角 180 度×2 枚など）で分析することも可能であることがわかった。



写真 4：世田谷区エリアのパノラマ化



写真 5：奥多摩町エリアのパノラマ化

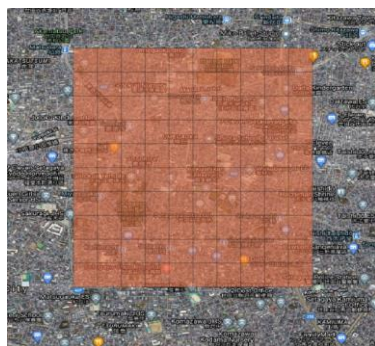
② 人工衛星による実証

人工衛星から取得されるデータを活用して、以下のアプローチより空き家の検出を行った。

(ア) NDVI データの活用（使用した衛星データ：Landsat-8）、(イ) 熱赤外データの活用（使用した衛星データ：Landsat-8）、(ウ) 夜間光データの活用（使用した衛星データ：Suomi NPP）、(エ) 車位置情報を用いた分析（使用した衛星データ：WorldView-3）

【各種衛星データを活用する上での設定した条件】

観測地点としてドローンと同様の 4 地点、世田谷区エリア、墨田区エリア、立川市エリア、奥多摩町エリアを設定した。衛星データ Landsat-8 の観測範囲は各観測地点を中心とした 4 平方キロメートル、10*10 のそれぞれ縦横約 200m に分割された正方形とした。（図 3）衛星データ SuomiNPP の観測範囲は各観測地点を中心とした約 400km²、8*8 の縦約 2800m、横約 2000m 分割された四角形とした。（図 4）具体的には以下に掲載した画像内に示した範囲である。（図はあくまで観測範囲の分割手法におけるイメージを掴むためのもの）



画像 3（左）、画像 4（右）：観測範囲の分割手法におけるイメージ

(ア) NDVI 値を用いた分析

空き家は庭の手入れがされていないため雑草が多くなり NDVI 値（正規化植生指標）が高くなるのではないかと仮説を設定した。一定範囲の空き家数と NDVI 値が相関関係にあれば NDVI 値か空き家数を見積もれる可能性がある。

(イ) 熱赤外バンド値（地表面温度）を用いた分析

空き家には人が住んでおらず日中の電気利用が少ないため放出される熱赤外線が少な

いのではという仮説を設定した。熱赤外バンド値（地表面温度）を空き家数が相関関係にあれば熱赤外バンド値から空き家数を見積もれる可能性がある。

(ウ) 夜間光計測バンド値を用いた分析

空き家には人が住んでおらず、夜間の電気利用はほとんどないと予測できるため空き家があるエリアの夜間光は弱く見えるのではという仮説を設定した。一定範囲の空き家数と夜間光計測バンド値が相関関係にあれば夜間光計測バンド値から空き家数を見積もれる可能性がある。

(エ) 車位置情報を用いた分析

空き家は人が住んでいないため付近に車が駐車されていない、駐車されていないエリアには空き家があると仮定した。車が駐車されているエリア（以下、駐車エリア）から空き家位置までの距離を計測し仮定が正しいかどうか検証した。また駐車エリアを空き家の探索対象から取り除けば、空き家探索時のエリアの絞り込みが簡単になると思われる。

駐車エリアとは縦横約 12m 範囲の領域を指す。具体的には画像 5 の画像内で示している太線で囲った部分である。12m に設定した理由は AI 画像分類モデルの訓練画像に利用した画像の解像度を同じにする必要があったからである。



画像 5 : 駐車エリア

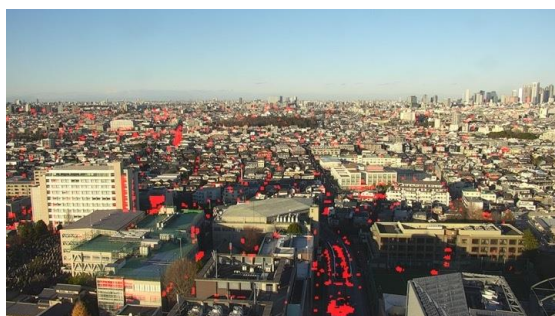
(3) 事業の成果

① ドローンによる実証

(ア) 可視光カメラを用いた実証

以下に夜間撮影したデータを抽出し、可視光画像に重ね合わせた例を示す。昼間の可視画像と夜間の可視画像から抽出した輝度情報を組み合わせたもの。(夜間の可視画像から抽出した輝度情報を赤く色付けした。)

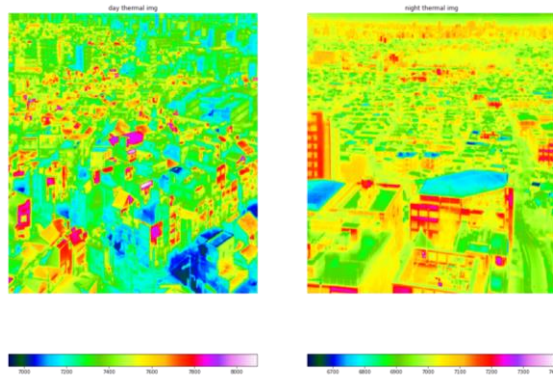
これにより非空き家の判定がかなりの程度できることが明らかになった。



画像 6 : 昼間の可視画像と夜間の可視画像を重ね合わせた画像 (世田谷区エリア)

(イ) 赤外線カメラを用いた実証

赤外線カメラによって、空き家と非空き家では相対的に温度差があることが確認できた。しかし、民家の素材（木造、鉄筋コンクリート等）による波長の違いや、季節要因等でのブレも大きいことから、可視画像による判定より精度が低い結果となった。（尚、精度に関しては、各画像を相対温度によって色付けを行い、色付け箇所を目視確認し、視認による区別ができないことから精度が低いとしている。）



画像 7：赤外線画像（世田谷区エリア）

② 人工衛星による実証

(ア) NDVI 値を用いた分析結果

以下は世田谷エリアの 1 エリア毎の NDVI 値と空き家数を全てプロットしたグラフである。グラフ右上に表示されている r は相関係数、 n はサンプル数を表す。各観測地点の NDVI 値と空き家数に相関が見られず、NDVI 値を利用し空き家数を観測することは困難だと思われる。

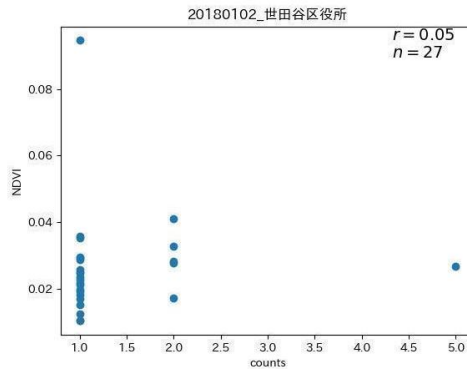


図 2：NDVI 値と空き家数

(イ) 熱赤外バンド値（地表面温度）を用いた分析結果

以下は世田谷エリアの 1 エリア毎の熱赤外バンド値と空き家数を全てプロットしたグラフである。グラフ右上に表示されている r は相関係数、 n はサンプル数を表す。各観測地点の結果から、熱赤外バンド値と空き家数に相関が見られず、熱赤外バンド値を利用し空き家数を観測することは困難だと思われる。

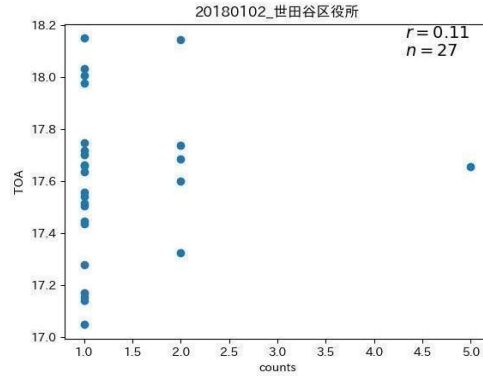


図3：熱赤外バンド値と空き家数

(ウ) 夜間光計測バンド値を用いた分析結果

以下は世田谷エリアの1エリア毎の夜間光計測バンド値と空き家数を全てプロットしたグラフである。グラフ右上に表示されているrは相関係数、nはサンプル数を表す。各観測地点の結果から、夜間光計測バンド値と空き家数に相関が見られず、夜間光計測バンド値を利用し空き家数を観測することは困難だと思われる。

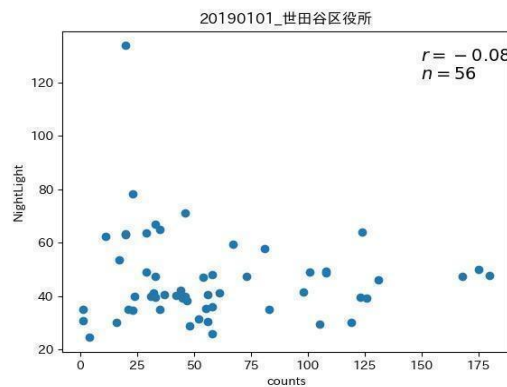
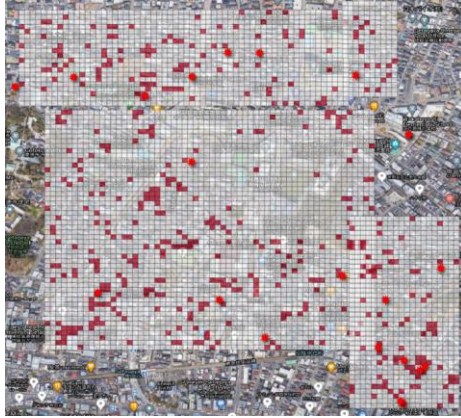


図4：夜間光計測バンド値と空き家数

(エ) 車位置情報を用いた分析結果[AI 画像分類モデルの開発]

取得した衛星画像についてAI画像分類モデルで予測をかけ、衛星画像に写っている一定エリア毎に車が駐車されているか、いないかという予測結果を付与して可視化したものが以下の結果になる。駐車エリアから空き家までの距離は立川市エリアが最短距離約6m、世田谷区エリアが最短距離約5m、墨田区エリアが最短距離約10mとなった。結果から駐車エリアから空き家は離れておらず、駐車エリア付近にも空き家は存在することが分かったため、距離の観点からは空き家検出には活用できないものとする。

駐車エリアのみの面積[km²]はそれぞれ立川市エリアが約0.16km²、エリア全体の面積(約1.30km²)に対する比率は約12.6%、世田谷区エリアが約0.11km²、エリア全体の面積(約1.21km²)に対する比率は約9.2%、墨田区エリアが約0.10km²、エリア全体の面積(約0.81km²)に対する比率は約12.1%となった。上記比率は、空き家調査を行う上で、調査員が回らなくて良い比率になると考える。



画像 8 : 衛星画像に車が駐車しているか予測結果を付与して可視化

以上のモデルを基に本事業では、調査対象エリアの衛星データに駐車場データを付与した。衛生のみのデータで空き家が特定できない場合でも、衛生を利用して空き家調査をしなくて良い場所を特定して調査をすることで調査効率を上げる実証を行った。

【立川市での実証】

衛星写真を活用せず、通常の方法で空き家調査を行った場合と衛星写真を活用して駐車エリアを検出し、そのエリアを除いて空き家調査を行った場合を比較し、駐車エリアの検出が空き家調査の効率化に寄与するかの確認を行った。(画像9の緑箇所がAIによって駐車エリアの検出を行った箇所。青枠箇所は、太陽光パネルが設置されている家屋や公園と見られる箇所を目視により追加で囲ったもの。こちらも空き家調査員による調査の対象外とした。)



画像 8 : 衛星画像に駐車エリア等を色付けしたものの

上記画像を使用せず同範囲に掛かった調査時間は5時間30分。

上記画像を使用し、掛かった調査時間は調査時間4時間(1時間30分の短縮)。

写真を考慮することでスムーズに調査をすることができた為、駐車エリアを空き家では無いエリアと設定することで、調査対象から除外することができ、効率化に寄与することが分かった。

【今回の実証で想定される調査時間・コストの削減】

○調査時間 約 27% の削減 [従前の現地調査との比較]

(計算式)

- ・衛星写真を活用した場合の現地調査時間：240 分
- ・衛星写真を活用しない従前の現地調査時間：330 分
- ・削減調査時間
 $240 \text{ 分} \div 330 \text{ 分} = 0.727 \dots$
 $1 - 0.727 \dots = \text{約 } 27\%$

○コスト 約 24% の削減 [従前の現地調査との比較]

(計算式)

- ・衛星写真を活用した調査費用：982,395 円
- [内訳]
- 調査実費（衛星写真を活用した調査）：944,495 円
 - 衛星データ費用：37,900 円
 - ・衛星写真を活用しない従前の調査費用（推定）：1,298,680 円※
※衛星写真を活用した調査費用：982,395 円に 1.375 倍した数字。
1.375 倍は立川市での実証結果を根拠にした。
 - ・衛星写真を活用した場合の現地調査時間：240 分
 - ・衛星写真を活用しない従前の現地調査時間：330 分
 $330 \text{ 分} \div 240 \text{ 分} = 1.375$
 - ・削減コスト
 $982,395 \text{ 円} \div 1,298,680 \text{ 円} = 0.756 \dots$
 $1 - 0.756 \dots = \text{約 } 24\%$

3 事業の評価と課題

(1) ドローンによる実証

[撮影の精度に関して]

今回の実証実験では、制約上ドローンを手動制御により飛行・撮影を行わざるを得なく、撮影画像の精度が当初の想定より悪かった。そのため手動による誤差の調整等を必要としたが、実際に夜間光から空き家を検出する場合は、定期的な撮影による均一なデータ収集が必要となるため、その際の撮影精度は非常に重要な課題である。これに関しては、2つの解決策が考えられるが、②に関して詳細は「4 今後の展開」に記載する。

- ① 固定カメラによる定期的な撮影
- ② ドローンの規制緩和の進展による高精度自動化

[撮影エリアに関して]

画像を見ると分かる通り、住宅密集地域では区画間の距離が短いため、もう少し近接からの撮影が必要だと感じた。(境界線が曖昧になってしまうため)今回は制約上、特定箇所の高度 75m のみからの撮影となったが、住宅密集地域で網羅的に空き家を検出するためには、複

数地点からもう少し低い高度（50m等）で撮影をする必要があると考えた。一方で、奥多摩町エリアや立川市エリアなど比較的住宅間の距離が離れている地域では、境界線の判定が容易であるため、今回のように特定地点の高い高度から定期的に撮影をすることで、住宅密集地域よりも少ない飛行回数で運用が出来るのではないかと考えた。

[撮影頻度に関して]

ドローンにおいては、撮影時点のデータからしか空き家の判別ができない為、たまたま住人が不在であった状況等を踏まえると、実用段階に移行するに際しては、一定期間撮影を行う必要があると考えた。（尚、今回の実証においては1回の飛行においても撮影許可を取得するのに近隣住民への説明を行ったエリアもあった為、複数回の許可取得は難しかった。）例えば、可視光の画像に関して定期的な撮影を行い、全ての画像を重ねることでより、空き家であると推定される家屋が明確になっていくものと考えられる。これを踏まえ、定期的にドローン飛行を行うか、固定カメラで撮影するのが最適な手法であると考えた。

[赤外線カメラに関して]

赤外線カメラが検出する波長について、特に夜間に撮影したものに関しては優位な波長差を検出することが出来ないケースも多かった。今回の実証に近い実験を行っている他の文献では、ドローンの低空飛行による接写（高度30m程度）で行っていることもあり、赤外線カメラの精度を高めるにはもう少し近い地点からの撮影が必要だと考えた。こちらに関しては、飛行空域が家屋の上空を通過の都度、各地権者の許可を得る必要がある為、広域の撮影を行う場合、現状の法規制の下では難しいが、規制緩和となれば解決出来る可能性が高い。

また赤外線データのもう一つの課題として、撮影時に写っている被写体の相対的な波長を表現しているため、定期的なデータ収集や、パノラマ化による分析には向かないと考えられる。時間帯や季節要因（太陽の日照等）にも大きく影響を受けるため、継続して均一のデータを収集するという観点で赤外線のアプローチは課題が多いと感じた。

(2) 人工衛星による実証

[最適なアプローチに関して]

上記の通り、衛星データを活用したアプローチとして、夜間光、熱赤外、NDVI（植生）、可視光の車検出を行ったが、この中で空き家検出における最適なアプローチは可視光の車検出と考える。これらアプローチを行ってきた中で、衛星データには様々なセンサーが搭載されているが、やはり分解能が粗いデータにおいては観測が難しい特性が起因しているものと考ええる。よって、撮影データから直接的に空き家検出を行うアプローチでは無いが、車がある家屋は空き家では無いという観点から、可視光の車検出が空き家調査の効率化に寄与できる手法であると考ええる。

4 今後の展開

(1) ドローンによる実証

[ドローンの規制緩和の進展による高精度自動化]

コスト的な側面や、撮影精度の安定化の観点からすると、現行は定点で夜間光のデータを

収集していくことでより精度の高い空き家検出をすることが出来ると考える。

ドローンの自動操縦においては、以下の法規制観点より今回の実証実験における手法が限界と考えるが、今後規制緩和された場合、より高精度な解析が可能と考えられる。具体的には、今回は家屋にカメラを向け、斜めから撮影する手法を採用した為、広範囲において死角が生じてしまったが、もし家屋上空から撮影が可能となった場合は、3D マッピングが作成可能となる為、死角無しで家屋毎のデータが取れると考える。3D マッピングのデータと夜間光のデータを組み合わせることで、空き家、あるいは非空き家の判定を高い精度で実現できる可能性がある。



出典：Pix4D 社の 3D マッピング機能のチュートリアル

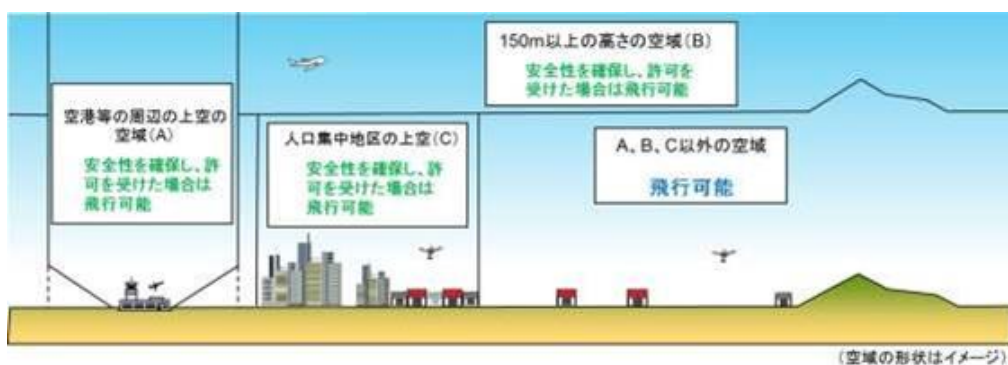
【ドローン飛行にあたっての法令等】

■航空法

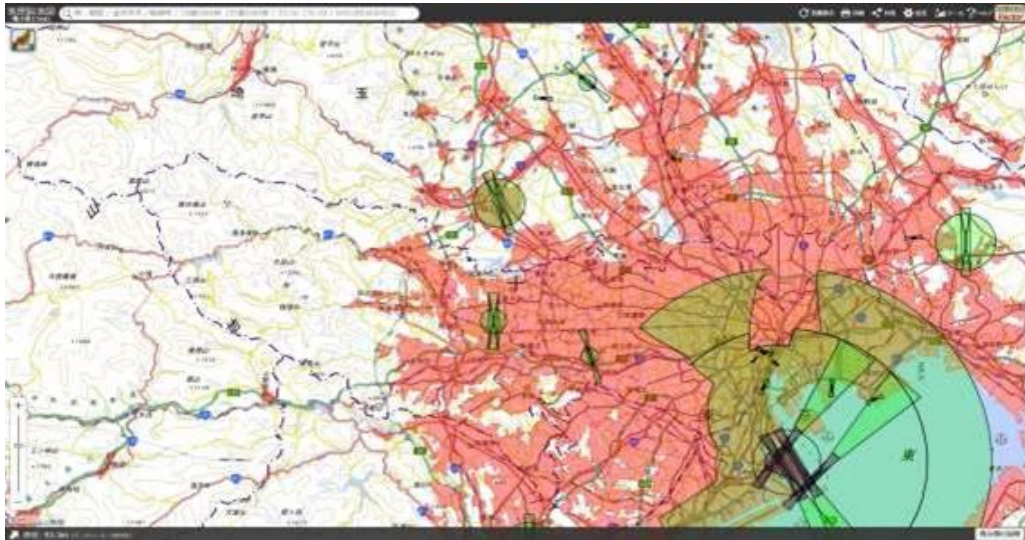
航空法第 132 条により、

- A. 空港等の周辺の上空の空域
- B. 150m 以上の高さの空域
- C. 人口密集地区の上空

での飛行にあたっては、あらかじめ許可を取得する必要がある。

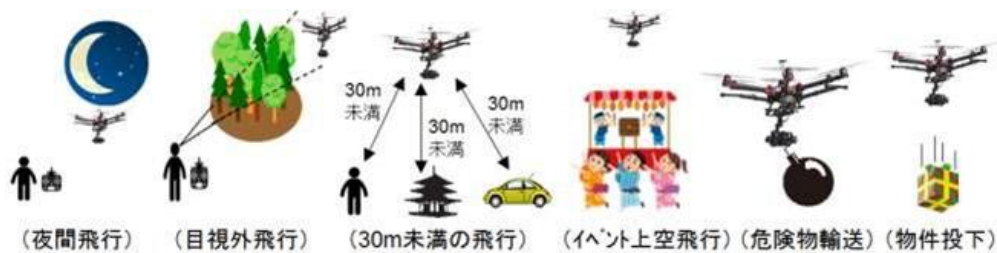


出典：国土交通省航空局ホームページ (https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk10_000003.html)



東京都の空港等周辺及び人口密集地区の区分出典：地理院地図

また、同じく航空法第 132 条において、以下のような飛行方法についても制限があり、これらの飛行を行うにあたっては事前に承認を得る必要がある。



出典：国土交通省航空局ホームページ (https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk10_000003.html)

■その他

関連法令及び条例等ドローンの飛行にあたっては、航空法のほか、以下の関連法令及び地方公共団体が定める条例等を遵守する必要がある。

- 小型無人機等飛行禁止法
- 電波法
- 道路交通法
- 河川法
- 公園法 等

また、撮影映像等のインターネット上での取り扱いやプライバシーの侵害、民地上空の飛行等、明確に法令で定められていないものの、飛行エリア近隣等に充分に配慮が必要となる事項もある。

尚、国土交通大臣の許可・承認を受けていたとしても、土地所有者の同意・承諾なしに、他人の土地の上空でドローンを飛行させることは、所有権侵害となる恐れがある。(民法 207 条は、「土地の所有権は、法令の制限内において、その土地の上下に及ぶ。」)

と規定されている。)

航空法では、航空機の最低安全高度が定められている。この高度は、人口密集地域では、最も高い障害物の上端から上空 300m の高度、それ以外では地上や水面の人・物件から上空 150m の高度とされている。この規定を根拠とすると、土地の所有権は上空 300m までが「利益の存する限度」として保護されていると考えることができる。よって、現行の法規制においては、他人の土地の上空 300m 以下においてドローンを飛行させた場合、当該他人の土地所有権侵害リスクが生じることから、実質的に上空 300m 以下の家屋上空を飛び回る撮影は困難である。

(2) 人工衛星による実証

① 可視光の車等検出に関して

可視光の車検出に関しては、多くの衛星データを AI に判別させることで、自動的に車を検出することが可能である。一方で、活用する衛星データは太陽同期準回帰軌道のものであり、上空通過時間帯が常に同じという特性がある。この為、日中は通勤等で車を使っている場合などは検出できない為、複数の衛星データを判別させても空き家エリアの判別精度を上げることができない可能性がある。よって、空き家検出において、調査の効率化には寄与するデータとなるのは間違い無いが、衛星データによってのみ判別を行うには限界がある為、衛星データ活用と人による調査を組み合わせることが有効な手段と考える。

今後、今回の実証で得られた成果を基に、当社の空き家データベースを用いた効率的な空き家の現地調査手法の確立を目指していく。