

撮影時点の異なる空撮画像の 差分による災害状況推定

—熊本地震に関する被災状況の分析事例—

岩切 宗利, 溝田 平

マグニチュード6クラス以上の大地震は、建物の倒壊や土砂崩れ、地盤沈下などの地表面変化を引き起こすため、特に家屋の密集する住宅地において甚大な人的被害を発生することが多い。このような地震災害は、その地域住民を中心とした人命に関わるため、迅速な対処が求められる。その災害対処活動の根幹を担う部隊や組織の意思決定は、極めて重要であり、その迅速かつ正確な判断に資する被害情報の収集能力向上が急務である。本稿は、情報処理の観点からその実現に取り組んだ研究事例の一つを紹介するものである。

キーワード：地震災害、自動分析、数値表層モデル (DSM)、カラー画像処理、差分統計量、地理情報システム

1. はじめに

東日本大震災や平成28年熊本地震（以下、熊本地震）などのような大地震は、建物の倒壊や土砂崩れ、地盤沈下などを引き起こし、甚大な建物被害や人的被害を発生することがある。震災時の災害対処活動は、人命や財産の保護に関わるため迅速な対応が求められる [1, 2]。

その災害対処活動の根幹を担う自衛隊や消防、警察、自治体などの組織では、収集したあらゆる情報に基づく現場での意思決定が極めて重要である。その意思決定には、被災状況に関する情報が不可欠であるが、その情報収集分析は、専門家による空撮画像の目視判読や現場隊員による現地確認に頼っているのが実情である [3]。

空撮は、広域に関する俯瞰的な情報収集に適している一方、航空機の手配や情報伝送に時間を要する問題がある。また、空撮画像の分析は、主に目視判読に頼っているのが実情であるため膨大な時間と労力が必要である。また、倒壊家屋の中には、その正確な目視判読が難しいものも存在する。現地確認による情報収集は、正確な情報を得られるが、現地への進入に時間がかかるうえ、二次災害の危険を伴うためその規模と範囲が



図1 空撮画像

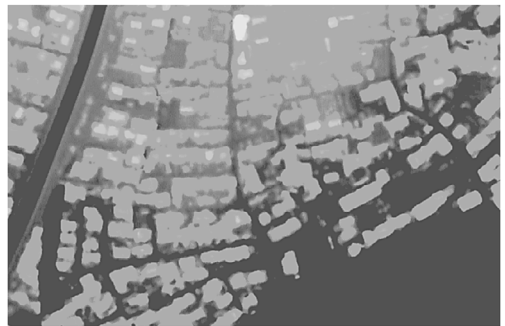


図2 数値表層モデル (DSM)

限定的である。

本稿では、その限られた時間の中で得られた図1のような空撮画像とそのオルソ補正に用いる図2のような数値表層モデル (DSM: Digital Surface Model) を分析処理し、地震による家屋の被害状況を自動判読する手法について検討した研究事例の一つを紹介する。

いわきり むねとし
防衛大学校情報工学科
〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20
iwak@nda.ac.jp
みぞた たいら
陸上自衛隊 (防衛大学校本科第61期卒業生)

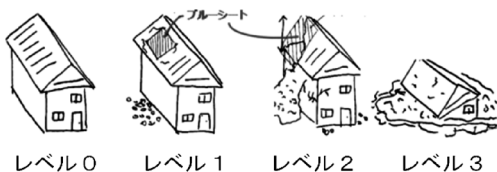


図3 家屋被害の分類とその例

本研究で目指している迅速かつ正確に被害状況を推定する手法を確立できれば、大規模災害発生時の組織的な対処行動を効率化でき、人命や財産を守ることができはるはずである。

本稿では、被災家屋の被害レベル [4] を図 3 に示した 4 段階に区分し、健全な家屋もしくは屋内のみに被害を受けた家屋をレベル 0、外形を保ったまま一部破損した家屋をレベル 1、外形の一部に変化を伴った被災家屋をレベル 2、全体的に倒壊した家屋をレベル 3 と定義する。各節では、各被災レベルに応じて検討した情報処理手法の一つを示し、それをういた実験結果に関する事例を紹介する。

2. 倒壊家屋（レベル 2, 3）検出法

図 3 に示したようにレベル 2, 3 の被災家屋は、レベル 0, 1 に比べ、建物全体もしくは一部の崩壊により 3 次元的な変化が顕著な状態である。特に、レベル 2, 3 の被災家屋の最大の特徴は、被災に伴う高さの変化である。この変化量は、発災前後の写真測量や航空レーザー測量を用いて生成された DSM の差分（以降、DSM 差分）により測量できると考えられ、これまでもいくつかの研究例が存在する [5–11]。

本節では、発災前後の写真測量により得られた DSM 差分を用いて建物区画全体の変化量を算出し、それを用いて被災地域の統計情報を得る手法について示す。図 4 は、撮影時刻の異なる（発災前後）の DSM（低い値が白色、高い値が灰色のグレースケール表示）からそれらの表層差分を求め、建物区画領域全体で切り抜く、一連の画像処理に関する具体例を示したものである。図中、DSM 差分に含まれる黒枠は、国土地理院 [12] がオープンデータとして公開している建物区画であり、暗い色ほど表層高の変化が大きい領域である。すなわち、灰色の面積が大きい領域は、建物倒壊などにより表層高が大きく変化したものと判断できる。

ここでは、熊本地震 [13, 14] による被災家屋の自動検出手法に関する研究例 [15–20] の一つを紹介する。本実験の際に（株）パスコ社から提供を受けた画像処理実験用のデータセットは、熊本地震の際に、有人航

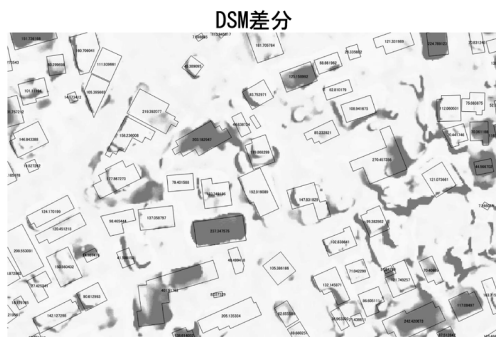
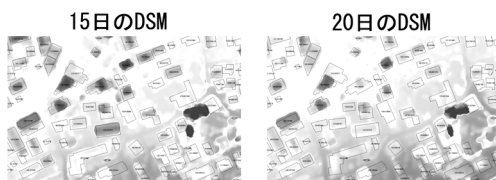


図4 表層差分処理の一例

空機を用いて取得された 4 月 15 日（前震後）と 4 月 20 日（本震後）の空撮画像である。各データには、前震により被災した家屋、本震によって被災した家屋それぞれが画像として含まれている。ただし、本データセットには、撮影時期の近い震災（前震）前の画像は含まれていない。

本実験では、まず実験結果の数値評価を行うために、15 日と 20 日の空撮画像（オルソ補正済み）を図 5、図 6 のように目視判読した。以下、図中の白枠は、本実験での評価範囲を示す。その結果、判読範囲内の総家屋数は、463 棟であり、15 日の時点で全壊 23 棟、半壊 35 棟、20 日の時点で全壊 90 棟、半壊 11 棟であることがわかった。図 7 は、これらの結果を比較し、15 日から 20 日の間（本震発生時）に全壊もしくは半壊したと判断される家屋 72 棟の抽出結果である。本手法の目的は、本震前後の画像解析により、図 7 の結果を得ることである。

次に、自動判読に用いる表層差分の統計値として建物区画内での総和を当該区画面積で割った値 Sum/Area を求めた。各建物区画ごとの算出値は、特異値を取り除くため値域全体の上下累積 2% を棄却し、残された値域を GIS (Geographic Information System) [21] を用いて 5 段階に分割した。図 8 は、これら Sum/Area による検出結果を示したものである。本結果を観察したところ、白色の家屋がレベル 3、黒色の家屋がレベル 2 であることがわかった。

図 9 は、本結果に基づいて、益城町から東区にかけての地域について自動検出したものである。この図に

示す黒色の検出領域は、熊本地震による広域な被災家屋の分布とおおむね一致していた。この結果から、表層差分を自動判読に用いる手法は、レベル 2, 3 の被災家屋に関する災害対処行動の意思決定に有用な一手法

といえる。

3. 半壊家屋（レベル 1）検出法

図 3 に示したようにレベル 1 の半壊家屋は、3 次元



図 5 4月15日（本震前）の被害状況（目視判読）

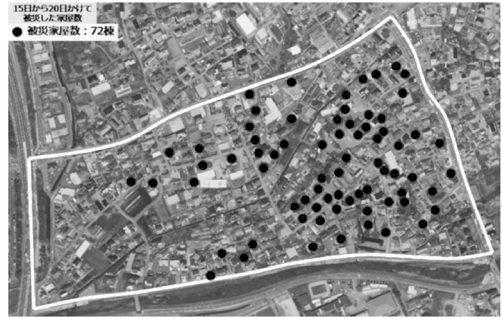


図 7 15日から20日の間に被災した家屋（目視判読）

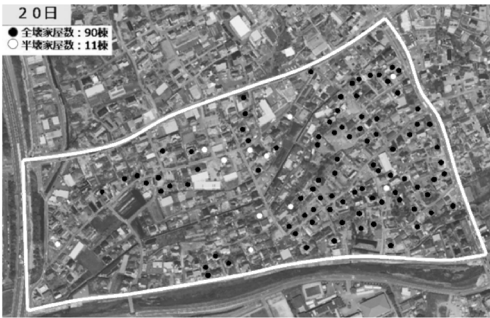


図 6 4月20日（本震後）の被害状況（目視判読）

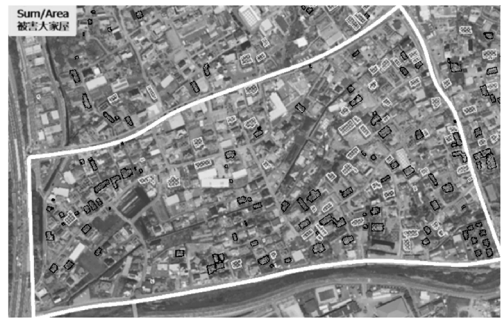


図 8 Sum/Area によるレベル 2, 3 家屋の検出結果

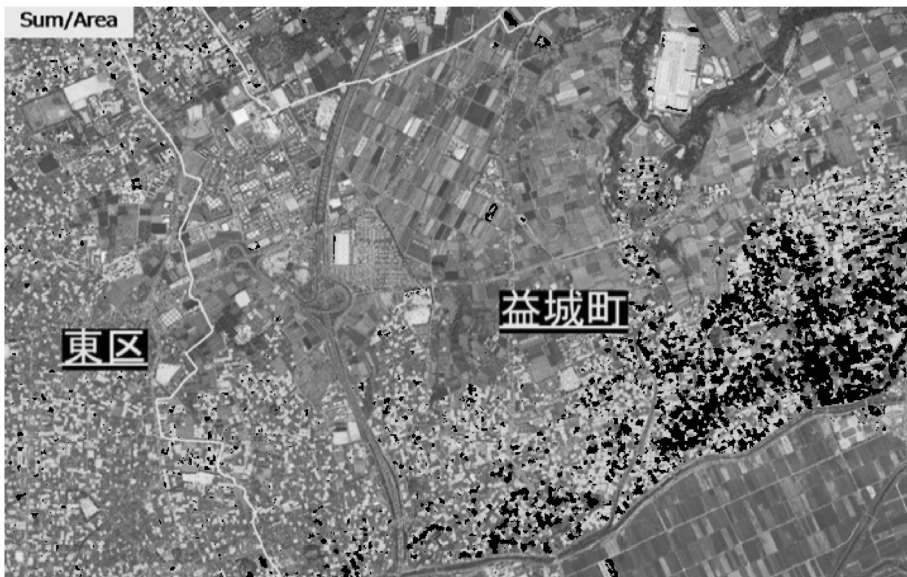


図 9 益城町周辺に関する自動検出結果

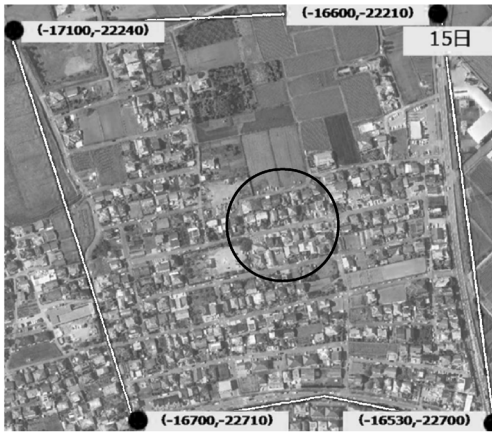


図 10 15日のブルーシート被覆状況(青成分)



図 12 目視判読結果



図 11 20日のブルーシート被覆状況(青成分)

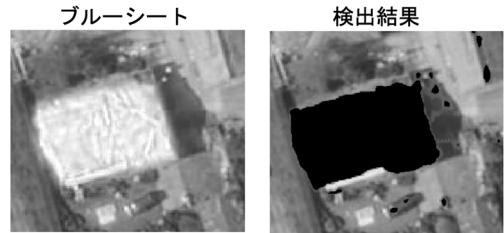


図 13 青色領域抽出結果

的高さの変化が少ないため、先に述べた DSM 差分による被災家屋の検出は難しい。熊本地震では、図 10、図 11 のように屋根などの一部が破損した被災家屋にブルーシートが被覆されていた。ここでは、このブルーシートを目印として、レベル 1 の半壊家屋を検出する手法について示す。

青色領域抽出法として、クロマキーを抽出する手法が知られている。本実験のクロマキー値(青)の算出には、文献 [22] に示されている

$$Ch_B(r, g, b) = \frac{r+g}{2} - b \quad (1)$$

の計算式を用いた。 $\{r, g, b\}$ は、それぞれ 赤, 青, 緑の色成分値 0~255 である。本手法で算出した青色成分の強さを建物区画領域で統計処理し、レベル 1 の家屋検出を行った。

本実験では、図 10、図 11 の評価範囲から抽出したブルーシート(青色)領域の差分を建物区画で統計処理し

た自動検出結果と、目視判読結果を比較した。各図の黒丸は、その変化が顕著な領域の一例である。図 12 に示したとおり本実験の評価範囲では、15日の時点でブルーシートが被覆されていた家屋は9棟、20日の時点で新たにブルーシートで被覆されていた家屋は57棟であった。

図 13 は、ブルーシートに覆われた家屋の画像と Ch_B の値が負となる青色(黒着色)領域を比較した結果である。この結果から、 Ch_B を用いてブルーシートの青色領域を正確に抽出できることがわかる。ただし、クロマキー抽出の計算式は、暗い領域でも青色成分が強い領域には反応を示す。この特性を抑制するために、単純な線形の重み付けを施すことにした。本実験に用いた重み付け関数は、各画素の輝度値 [23] により定まる、

$$W(r, g, b) = \frac{0.299r + 0.587g + 0.114b}{255} \quad (2)$$

とした。よって、重み付きクロマキー値(青)の算出式は、

$$WCh_B(r, g, b) = W(r, g, b) \cdot Ch_B(r, g, b) \quad (3)$$

である。

15日の空撮画像から抽出した青色領域と、20日の

空撮画像から抽出した青色領域の差分を求め、建物区画領域内に関して前節と同様の統計処理を行うことにした。図 14 は、 $WCh_B(r, g, b)$ の差分値を用いた集計処理結果 $Sum/Area$ を可視化したものである。この結果と目視判読の結果と比較したところ、ほぼ 100% 一致した。この結果から、一般的なクロマキー抽出法に簡単な重み付け処理と、発災前後の差分統計処理を施すことにより、ブルーシートに覆われたレベル 1 の半壊家屋を正確に検出できることがわかる。最後に、益城町一帯にかけてブルーシートを検出した結果（黒点）を図 15 に示す。



図 14 検出結果（白：15 日被覆，黒：22 日増加）

4. おわりに

本稿では、撮影時点の異なる空撮画像を用いて、それらの数値表層差分および色差分（変化）に注目し、熊本地震による被害状況の推定を行う手法について紹介した。ここで紹介した各手法は、低層部分の圧壊による建物高の変化などの目視判読が難しい被災家屋を、より正確に自動判読できる可能性がある。また、応急処置として使用したブルーシートに覆われた家屋を正確に抽出することにより、高さの変化を伴わず被災者が存在する可能性の高い家屋を高精度に検出できる。図 16 は、本稿に示した各手法による自動検出処理を複合的に用いることにより、東区から益城町一帯にかけての推定した被害状況を、それぞれ黒点で俯瞰的に示した結果である。この推定結果に、人口や高齢者数、児童数、地域別のエネルギー消費量などの国勢調査資料などの各種基盤地図情報を加味することにより、災害対処行動などの危機管理の効率化が達成できる。

謝辞 本稿では、株式会社パスコより提供を受けた空撮画像および数値表層モデルを用いて実施した研究事例を紹介しました。この場を借りて、パスコ社のご協力に心より御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 内閣府、「日本の災害対策」、2015.
- [2] 内閣府、「平成 30 年版防災白書」、日経印刷、2018.

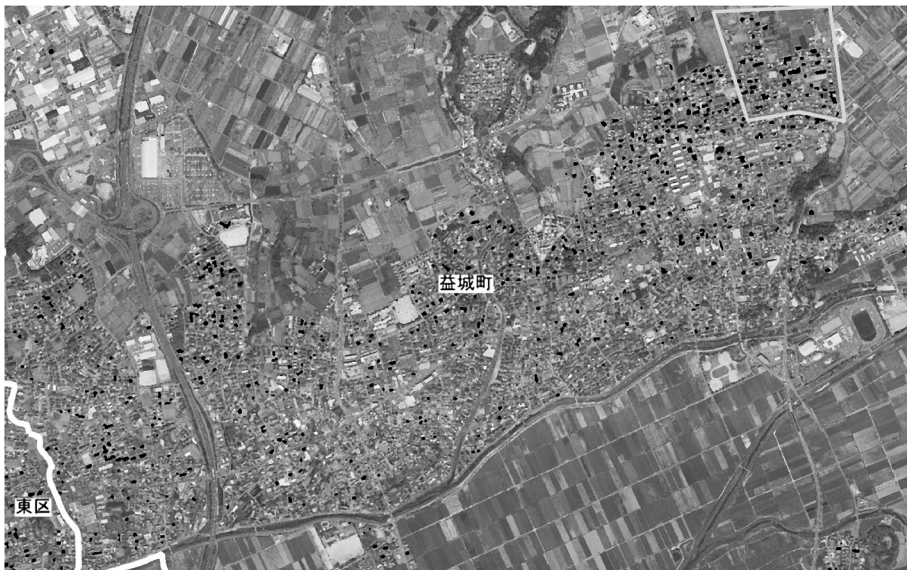


図 15 益城町一帯の処理結果（右上の枠は評価範囲）

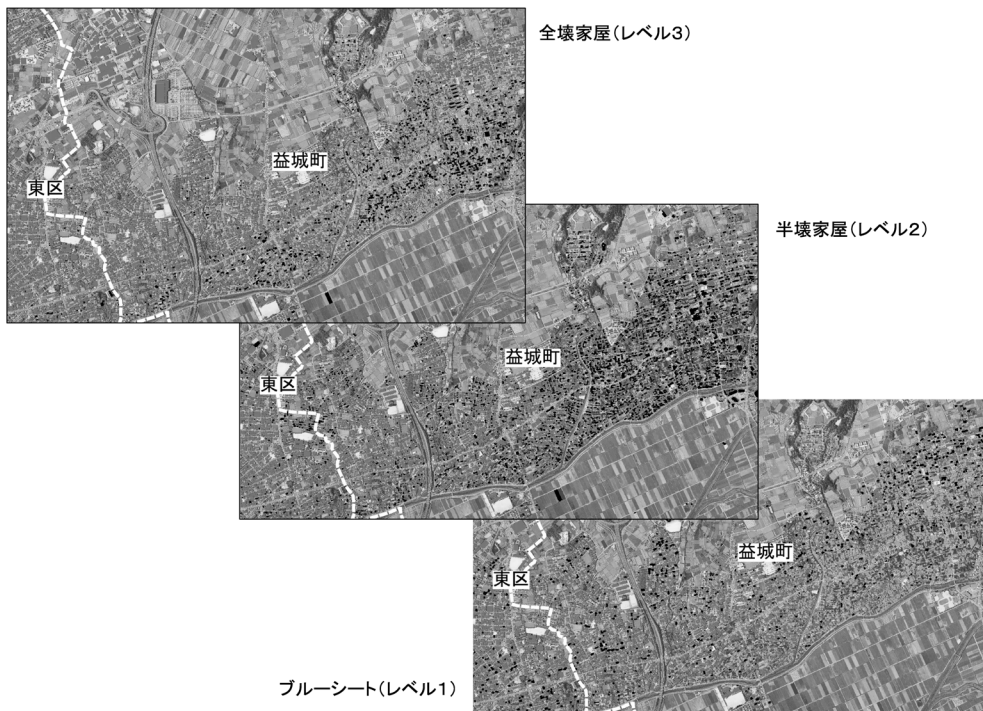


図 16 東区から益城町一帯にかけての被害状況推定結果

- [3] 谷川弘忠, 山崎文雄, 松岡昌志, 関本泉, “空撮映像目視判読による地震被害建物の抽出に関する精度検証,” 第 25 回地震工学研究室発表会講演論文集, **25**, pp. 1197–1200, 1997.
- [4] 岡田成幸, 高井伸雄, “地震被害調査のための建物分類と破壊パターン,” 日本建築学会構造系論文集, **64**, pp. 66–72, 1999.
- [5] 内山庄一郎, 井上公, 鈴木比奈子, “SfM を用いた三次元モデルの生成と災害調査への活用可能性に関する研究,” 防災科学技術研究所研究報告第 81 号, 2014.
- [6] 田代啓, 丸山喜久, 山崎文雄, “デジタル空中写真測量に基づく新潟県中越沖地震はおける建物倒壊の把握,” 地域安全学会論文集, **13**, pp. 379–386, 2010.
- [7] 青木久, 松岡昌志, 山崎文雄, “空撮画像を用いた地震による被害建物の抽出,” 写真測量とリモートセンシング, **40**, pp. 27–36, 2001.
- [8] 三富創, 松岡昌志, 山崎文雄, “空撮画像を用いた汎用的な建物被害抽出方法に関する考察,” 土木学会論文集, **2002**, pp. 413–425, 2002.
- [9] 源貴志, 成行義文, 安部真理子, 佐藤弘美, “航空写真におけるエッジ方向性を利用した建物被害部の自動判別に関する基礎的研究,” 土木情報利用技術論文集, **17**, pp. 233–242, 2008.
- [10] 白木顕介, 杉山岳弘, 阿部圭一, “画像処理と GIS 情報を組み合わせた地震被害の定量的評価,” 情報処理学会研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM), **2002**, pp. 169–176, 2002.
- [11] 義文成行, 啓介永井, 平尾潔, 源貴志, “垂直航空写真を用いた木造建物倒壊箇所の自動抽出,” 土木情報利用技術論文集, **14**, pp. 145–156, 2005.
- [12] 国土地理院, <http://www.gsi.go.jp/chubu/minichishiki12.html> (2019 年 9 月 2 日閲覧)
- [13] 国土技術政策総合研究所, “平成 28 年熊本地震建築物被害調査報告書 (速報),” 国土技術政策総合研究所資料, **929**, pp. 3-1–3-18, 2016.
- [14] 防災推進室, “熊本地震に関する国土地理院の対応,” 国土地理院時報, **128**, pp. 135–138, 2016.
- [15] 千葉達郎, 織田和夫, 高遠陶子, 荒井健一, “本震前後の 2 時期航空レーザ測量差分および航空写真による 2016 年熊本地震による形状変更 (速報),” 日本地球惑星科学連合 2016 年大会論文集, pp. 56–57, 2016.
- [16] 本田禎人, 望月貫一郎, 下村博之, “平成 28 年熊本地震での被災建物判読を目的としたブルーシート被覆建物の自動抽出,” 日本地震工学会 2016 年大会梗概集, pp. 90–91, 2016.
- [17] 國武千人, 溝田平, 岩切宗利, 榊原庸貴, 望月貫一郎, “熊本地震による被害家屋検出のための空撮画像処理手法,” 第 16 回情報科学技術フォーラム論文集, **4**, pp. 333–334, 2017.
- [18] 國武千人, 岩切宗利, 榊原庸貴, 望月貫一郎, “倒壊家屋検出のための航空レーザ測量データ分析法,” 第 80 回情報処理学会全国大会論文集, **2**, pp. 241–242, 2018.
- [19] 國武千人, 岩切宗利, 榊原庸貴, 望月貫一郎, “CNN による広域空撮画像からの倒壊家屋推定,” 2018 年電子情報通信学会総合大会論文集, p. 74, 2018.
- [20] 國武千人, 岩切宗利, 榊原庸貴, 望月貫一郎, “平成 28 年熊本地震による倒壊家屋検出のための空撮画像解析,” 第 46 回画像電子学会年次大会予稿集, **46**, pp. R1–2, 2018.
- [21] QGIS, <http://qgis.org/ja/site/> (2019 年 9 月 2 日閲覧)
- [22] 井上誠喜, 八木伸行, 林正樹, 中須英輔, 三谷公二, 奥井誠人, 『C 言語で学ぶ実践画像処理』, オーム社, 2008.
- [23] ITU-R BT.601-7, <http://www.itu.int/rec/R-REC-BT.601> (2019 年 9 月 2 日閲覧)