

卒業論文

題目

ドローン空撮映像を用いた災害領域検出

報告者

氏名：室永 将門

学籍番号：7071-0090

指導教員

佐治 斉

提出日

令和 02 年 2 月 00 日

静岡大学 情報学部 情報科学科

目次

第 1 章	はじめに	3
1.1	背景	3
1.2	先行研究	4
1.2.1	衛星画像を用いた斜面崩壊領域検出	4
1.2.2	ヘリコプター空撮画像を用いた斜面崩壊領域検出	4
1.2.3	ドローン空撮画像を用いた斜面崩壊領域検出	4
1.2.4	衛星画像を用いた浸水領域検出手法	4
1.2.5	ヘリコプター空撮画像を用いた浸水領域検出	4
1.3	本研究の目的	4
1.4	本論文の構成	4
第 2 章	手法	6
2.1	概要	6
2.2	領域分割	6
2.3	ヒストグラム均一化	7
2.4	災害領域検出	7
2.4.1	L*a*b* 表色系変換	8
2.4.2	HSV 表色系変換	9
2.4.3	テクスチャ解析	9
2.4.4	斜面崩壊領域検出	9
2.4.5	浸水領域検出	9
2.5	不要領域除去	9
2.5.1	エッジ抽出	9
2.5.2	円形度	9
2.5.3	GRI	9
2.5.4	空領域検出	9
2.5.5	植生領域検出	9
2.6	瓦礫・建物領域除去	10
第 3 章	実験	11
3.1	実験環境	11
3.2	使用データ	11
3.3	実験結果	12
3.3.1	入力画像	12
3.3.2	領域分割	12

3.3.3	ヒストグラム均一化	12
3.3.4	災害領域検出	12
3.3.5	不要領域除去	13
3.4	精度評価	14
3.5	考察	17
3.6	結論	17
3.7	今後の課題	18
参考文献		21
謝辞		22

第 1 章 はじめに

1.1 背景

近年、豪雨による斜面崩壊・浸水被害が多発しており、統計期間 197 年より 2019 年での 10 年間における豪雨災害発生件数は約 1.4 倍に増加している。[1] また、平成 29 年 7 月九州北部豪雨では豪雨による斜面崩壊や屋内外での浸水被害により死者 37 人、行方不明者 4 人（平成 29 年 11 月 2 日時点）、住宅被害 1481 棟となっている [2]。これらの被害箇所を早急に把握することは救助活動や二次災害の防止等に有効である。この災害把握に関し、安全な位置からの解析が可能なりモートセンシング技術が注目されている。リモートセンシング技術による災害箇所検出には主に人工衛星、有人航空機（以下、ヘリコプター）、無人航空機（以下、ドローン）が用いられる。人工衛星は広範囲の把握が可能であり、画像処理において扱いが容易な直下視点の画像が得られる。しかし、解像度が低いため詳細な情報を得にくく、天候や撮影周期によっては画像が得られないという問題がある。ヘリコプターは人工衛星に比べ早期に画像を取得でき、解像度も優れる。しかし、金銭的成本が非常に高く、周囲に発着場が必要であるという問題がある。これに対しドローンは安価かつ迅速に解像度の高い画像の取得が可能であるため、被害箇所の早急な把握に有効である。また、2020 年 9 月 8 日時点で 43 都道府県の消防本部がドローンを導入しており災害時の利用が期待されている。よって、本研究ではドローンにて撮影した空撮映像を用いて豪雨時の斜面崩壊・浸水領域を検出する手法を提案する。

最初に使える画像の制限を明記（特定の条件やこの研究が意味を成す条件、この研究が適用できる条件等）



図1.1: 画像テスト

1.2 先行研究

リモートセンシング技術による斜面崩壊・浸水領域検出に関する研究を以下に示す。

1.2.1 衛星画像を用いた斜面崩壊領域検出

江口ら [2] は地震と豪雨災害後の人工衛星画像を用いて斜面崩壊領域を検出する手法を提案している。この手法では人工衛星画像を土砂領域、植生領域、水領域に分類し、国土地理院提供の DEM データにより斜面でない領域を除去することによって斜面崩壊領域を検出している。この手法では広範囲の解析が可能であり、衛星画像特有の指標にて容易に土地被覆分類ができるという利点がある。しかし、衛星画像は解像度が低く、条件によっては画像自体が取得できない可能性があり、斜面上の道路等の人工物を誤検出するという問題もある。

1.2.2 ヘリコプター空撮画像を用いた斜面崩壊領域検出

中山 [3] らは災害後のヘリコプター空撮画像を用いて斜面崩壊領域を検出する手法を提案している。この手法では $L^*a^*b^*$ 表色系 { } にて土砂領域を検出し、テクスチャ特徴の一つである異質度 { } と DEM データにて道路や平地を除去している。この手法では解像度の高さを利用した異質度にて人工物を除去することができるという利点がある。しかし、位置情報を含む衛星画像と比べ、DEM との位置合わせの際にずれが生じるという問題がある。

1.2.3 ドローン空撮画像を用いた斜面崩壊領域検出

機械学習使うやつ精度高いデータ数が少なく、手に入りにくいという問題がある。

1.2.4 衛星画像を用いた浸水領域検出手法

なんか津波とかあったかも

1.2.5 ヘリコプター空撮画像を用いた浸水領域検出

雨宮 [4] らは災害後のヘリコプター空撮画像を用いて浸水領域を検出する手法を提案している。この手法では $L^*a^*b^*$ 表色系 { } にて土砂領域を検出し、テクスチャ特徴の一つである異質度 { } と DEM データにて道路や平地を除去している。この手法では解像度の高さを利用した異質度にて人工物を除去することができるという利点がある。しかし、位置情報を含む衛星画像と比べ、DEM との位置合わせの際にずれが生じるという問題がある。あめみやさん（ただし都市部）

1.3 本研究の目的

以上の背景と先行研究を踏まえ、本研究では DEM と機械学習を用いずに災害後のドローン空撮映像を用いた斜面崩壊・浸水領域を検出する手法を提案する。衛星画像とヘリコプター空撮画像が使用不可能な場合の代替手段として、ドローン空撮画像にて災害領域を同等の精度で検出することを目的とする。

1.4 本論文の構成

本論文の構成を以下に示す。

第 1 章では本研究の背景、先行研究、及び目的について述べた。

第 2 章では本研究の提案手法について述べる.

第 3 章では実験方法及び実験結果について述べる.

第 4 章ではまとめとして結論及び今後の課題について述べる.

第 2 章 手法

2.1 概要

提案手法の概要図を図3.2に示す。提案手法では、入力画像であるドローン空撮映像を分割したフレーム画像に対し前処理として領域分割とヒストグラム均一化を行い、色情報や土地被覆指標等を用いて斜面崩壊、浸水領域を検出する。次に、これらの領域から植生、空、瓦礫、建物領域を除去し最終出力結果とする。

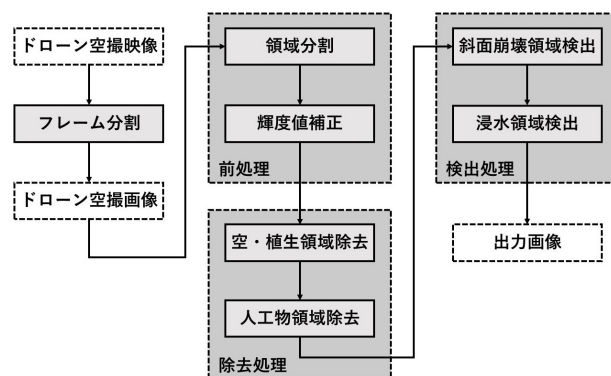


図2.1: 提案手法概要図

2.2 領域分割

斜面崩壊・浸水領域を画素単位で検出することは難しいため、近傍画素との関係性を考慮した上で領域単位で判別を行う。本研究では Mean-Shift 法を用いた領域分割を行う。Mean-Shift 法はカーネル密度推定によるクラスタリング手法の一つで画像の領域分割、動画像における対象物体追跡に用いられる。また、領域分割の代表的な手法である k-means 法に比べ、クラスタ数を事前に決める必要が無い。d 次元空間中の N 個の点群 x_i を標本として得られるような確率密度関数 $f(x)$ を考え、その標本点から確率密度関数 $f(x)$ の極大点を探索する手法である。次に、Mean-Shift 法にてカラー画像の領域分割を行う手順について説明する。

1. カラー画像中の各画素の位置を二次元座標 x_i 、その画素値を三次元チャンネル $v_i = (R_i, G_i, B_i)$ とし、画素位置と画素値を結合した 5 次元空間内の点 $z_i = (x_i, v_i)$ を考える。距離と色相が近い画素が 5 次元空間内でクラスタを成しているとし、各画素を Mean-Shift 法でクラスタリングする。
2. 画素位置、画素値のバンド幅をそれぞれ h_s, h_r とする。すべての z_i に Mean-Shift 法を適用し、収束位置 $z^c = (x^c, v^c)$ を計算する。
3. x_i の画素値を収束位置の画素の値 $v_i = (R_i, G_i, B_i)$ に置き換えることによって領域分割ができる。

なお、 x^s, x^r をそれぞれ 5 次元ベクトルの空間に対応するものとし、カーネル密度推定を以下 {式 x} のよ

うに定義することで Mean-Shift 法は以下のように計算される。

$$f(x) = \frac{c}{N h_s^2 h_r^3} \sum_{i=1}^N k\left(\left|\frac{x^s - x_i^s}{h_s}\right|^2\right) k\left(\left|\frac{x^r - x_i^r}{h_r}\right|^2\right) \quad (2.1)$$

$$y_{j+1}^s = \frac{\sum_{i=1}^N g_i^s x_i^s}{\sum_{i=1}^N g_i^s}, y_{j+1}^r = \frac{\sum_{i=1}^N g_i^r x_i^r}{\sum_{i=1}^N g_i^s} \quad (2.2)$$

ただし、

$$g_i^s = k'\left(\left|\frac{y_j^s - x_i^s}{h_s}\right|^2\right) k\left(\left|\frac{y_i^r - x_i^r}{h_r}\right|^2\right), g_i^r = k\left(\left|\frac{y_j^s - x_i^s}{h_s}\right|^2\right) k'\left(\left|\frac{y_i^r - x_i^r}{h_r}\right|^2\right) \quad (2.3)$$

である。

なお、本研究では Mean-Shift 法の特徴量空間に距離を表す画素位置 (x,y)、色相を表す画素値 (R,G,B) を用いるので 5 次元空間での処理となり、距離、色相の近い画素郡が一つの領域となる。領域分割の実行結果を図2.2に示す。

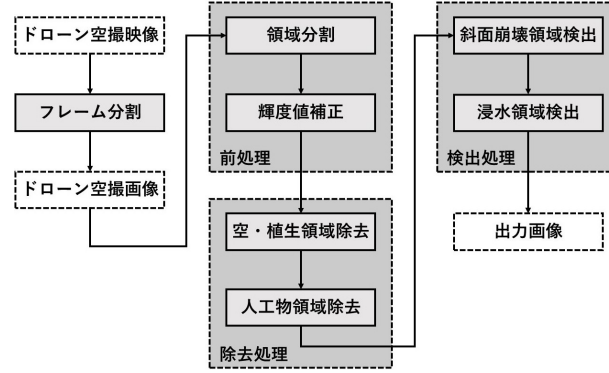


図2.2: 領域分割

2.3 ヒストグラム均一化

空撮画像は撮影時の天候や時刻、季節によって色相や輝度に偏りが生じる。本研究では色相や輝度、色情報を用いた指標によって判別処理を行うので偏りによって検出結果に影響が生じる可能性があるため、CLAHE のアルゴリズムによってヒストグラムを均一化する。[5]。CLAHE のアルゴリズムとは画像をタイルと呼ばれる小領域に分割し、タイル毎にヒストグラム均一化を行う手法である。ただし、タイル毎に均一化を行うとノイズが強調されるため、ビンの出現頻度が特定の上限值以上となった場合、その画素をその他のビンに均等に配分した後ヒストグラムの均一化を行うことによってノイズの強調を抑える。よって、本研究では CLAHE のアルゴリズムによってノイズの強調を抑えつつヒストグラムの均一化を行う。ヒストグラム均一化の実行結果を図3.3に示す。

2.4 災害領域検出

斜面崩壊・浸水領域での色情報や輝度情報等の特徴を表3.1に示す。

斜面崩壊と浸水が重複した場合どうしようっ s

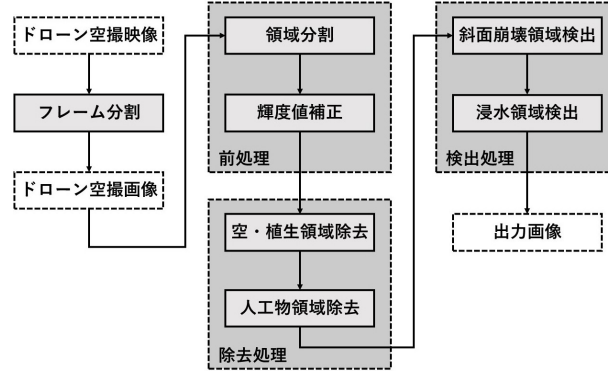


図2.3: ヒストグラム均一化

表2.1: 各災害領域の特徴

領域名	L*	a*	b*	S	dis
斜面崩壊	低い	高い	-	高い	高い
浸水	高い	高い	-	低い	低い

2.4.1 L*a*b* 表色系変換

前述の各災害領域の特徴に従って分類を行うためヒストグラム均一化を行った画像に対し L*a*b* 表色系変換を行う。L*a*b* 表色系は人間の視覚に近い色空間であり、色情報にて分類を行う際に用いられることがある。本研究で用いている画像は現時点では RGB 表色系にて表されているため L*a*b* 表色系への変換を行う。RGB 表色系から L*a*b* 表色系への変換式をに示す。なお、RGB 表色系から直接 L*a*b* 表色系に変換する式は存在しないため XYZ 表色系に変換してから処理を行う。

$$L^* = 116 \times f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - 16 \quad (2.4)$$

$$a^* = 500 \times f\left(\frac{X}{X_n}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) \quad (2.5)$$

$$b^* = 200 \times f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) \quad (2.6)$$

$$X = \quad (2.7)$$

$$Y = \quad (2.8)$$

$$Z = \quad (2.9)$$

ただし、

$$f(t) = t^{\frac{1}{3}}t > \left(\frac{6}{29}\right)^3 \frac{1}{3} \left(\frac{29}{6}\right)^2 t + \frac{4}{29}t \leq \left(\frac{6}{29}\right)^3 \quad (2.10)$$

とする。

2.4.2 HSV 表色系変換

2.4.3 テクスチャ解析

2.4.4 斜面崩壊領域検出

斜面崩壊領域は赤色が強く、輝度が低いという特徴がある。また、土砂のような不均一な物質を多量に含むため、異質度が高い。これらの特徴を利用し色相、輝度、異質度により閾値処理を行う。

2.4.5 浸水領域検出

浸水領域は赤色が強く、輝度が高いという特徴があるため 2.6 節と同様に閾値処理を行う。そして、これまでの処理を統合したものを最終出力結果とする。

2.5 不要領域除去

最終出力結果にて誤検出を防ぐため空、植生、瓦礫、建物領域の除去を行う。各領域はそれぞれ表3.1のような特徴を持つため、この表に基づき色情報、輝度情報等にて各領域を検出する。検出したそれぞれの領域のマスク画像を作成し、災害領域検出結果よりマスクされた領域を除去し最終出力結果とする。

表2.2: 各災害領域の特徴

領域名	L*	a*	b*	IRR	dis
空	高い	-	低い	-	-
植生	低い	低い	低い	-	-
瓦礫	-	-	-	-	高い
建物	-	-	-	高い	低い

2.5.1 エッジ抽出

2.5.2 円形度

2.5.3 GRI

2.5.4 空領域検出

ドローンは撮影視点が横方向となることが多く画像中に空領域を含むことがある。空領域は青色が強く、輝度値が高いという特徴がある。L*a*b* 表色系において b* 値が低いほど青色が強く、L* 値が高いほど明るくなる。よって、L*a*b* 表色系における b* 値と L* 値にて閾値処理を行い空領域を検出する。

2.5.5 植生領域検出

山間部では頻繁に画像中に植生領域を含むため、誤検出低減のため空・植生領域を除去する。また、植生領域は緑色・青色が強いという特徴があるので、空領域と同様に閾値処理を行う。これらの閾値処理結果によりマスク画像を作成し、最終結果から除去する。

2.6 瓦礫・建物領域除去

前節同様、誤検出を防ぐため瓦礫・建物領域の除去を行う。瓦礫・建物領域はそれぞれ表うんちのような特徴を持つため、この表に基づき瓦礫・建物領域を検出する。検出したそれぞれの領域のマスク画像を作成し、最終結果よりマスク領域を除去する。

瓦礫領域検出 斜面崩壊，浸水，人工物領域は色相が類似していることが多く，2.4 節のような色特徴での除去が難しい．そこで，本研究ではテクスチャ特徴量の指標の一つである異質度にて閾値処理を行う．異質度とは画像内の不均一度を示す指標であり，表面が不均一である程高い値を示す．2.4 節同様，本処理結果を最終結果から除去する．

建物領域検出

均質な領域均質な領域尾を除去するか m の大大大

斜面崩壊，浸水，人工物領域は色相が類似していることが多く，2.4 節のような色特徴での除去が難しい．そこで，本研究ではテクスチャ特徴量の指標の一つである異質度にて閾値処理を行う．異質度とは画像内の不均一度を示す指標であり，表面が不均一である程高い値を示す．2.4 節同様，本処理結果を最終結果から除去する．

第 3 章 実験

3.1 実験環境

本研究における実験環境を表3.1に示す。

表3.1: 使用データ

CPU	Intel® Core™ i7-7500U @ 2.70GHz 2.90GHz
メモリ	8.00 GB
OS	Windows 10 Pro
開発環境	Microsoft Visual Studio Code 1.52.0
使用言語	Python 3.8.0
使用ライブラリ	OpenCV 4.2.0

3.2 使用データ

本研究では平成 29 年 7 月九州北部豪雨のドローン空撮映像 [6] を用いた。空撮映像の詳細を表3.2と表3.3に示す。

表3.2: 使用データ

災害名称	平成 29 年 7 月九州北部豪雨
撮影箇所	福岡県朝倉市赤谷川
撮影日時	平成 29 年 7 月 7 日 15 時 30 分
解像度	1920 × 1080 pixel
提供	国土地理院

表3.3: 使用データ

災害名称	平成 29 年 7 月九州北部豪雨
撮影箇所	福岡県
撮影日時	平成 29 年 7 月 7 日 x 時 x 分
解像度	1920 × 1080 pixel
提供	国土地理院

3.3 実験結果

3.3.1 入力画像

実験に使用したドローン空撮映像から切り取ったフレーム画像を図3.2と図2.2に示す。

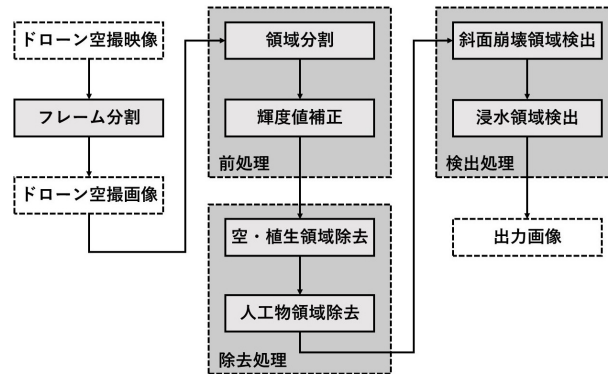


図3.1: 入力画像（実験 □）

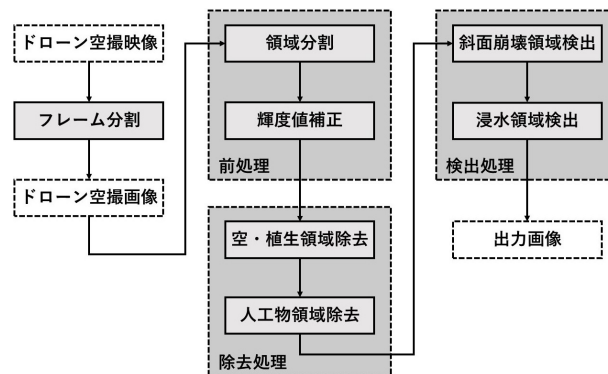


図3.2: 入力画像（実験 □）

3.3.2 領域分割

前節の入力画像を Mean-Shift 法にて領域分割した結果を図3.3と図3.4に示す。

3.3.3 ヒストグラム均一化

領域分割を適用した画像に CLAHE のアルゴリズムにてヒストグラム均一化を行った結果を図3.22と図3.23に示す。

3.3.4 災害領域検出

ヒストグラム均一化を適用した画像に対し閾値処理にて災害領域である斜面崩壊・浸水領域を検出した結果を図3.7～図3.10に示す。

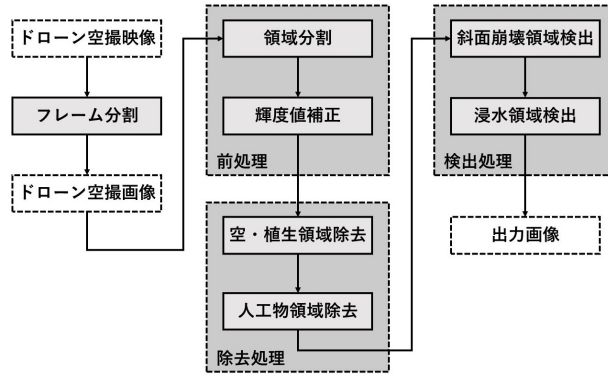


図3.3: 領域分割結果（実験 □）

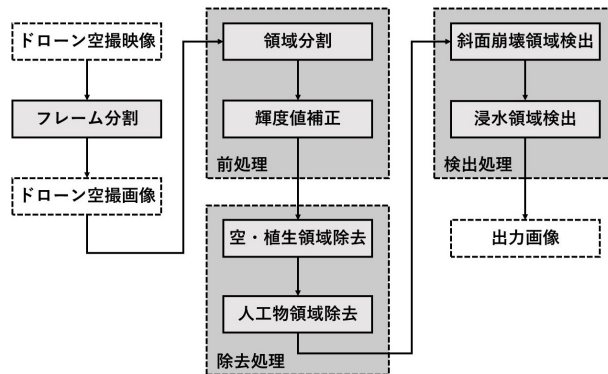


図3.4: 領域分割結果（実験 □）

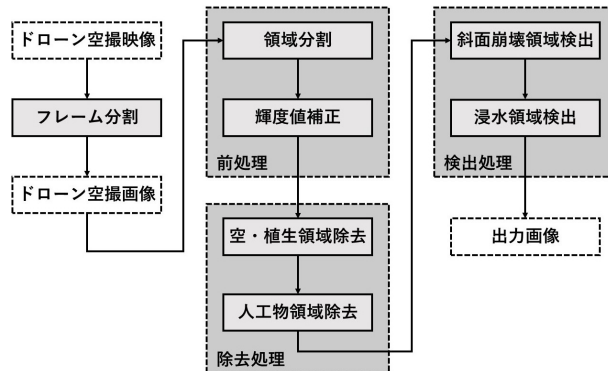


図3.5: ヒストグラム均一化結果（実験 □）

3.3.5 不要領域除去

ヒストグラム均一化を適用した画像に対し閾値処理にて不要領域である植生・空・瓦礫・建物領域を検出した結果を図??～図??に示す。

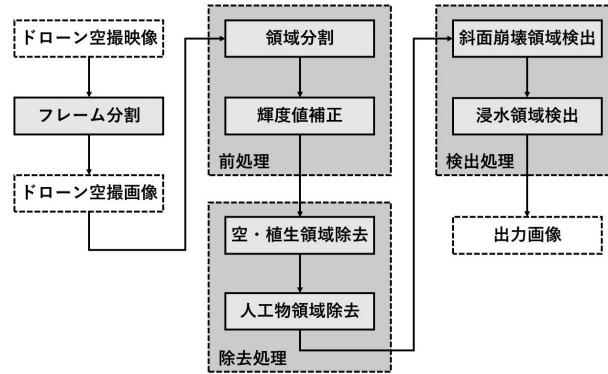


図3.6: ヒストグラム均一化結果（実験 □）

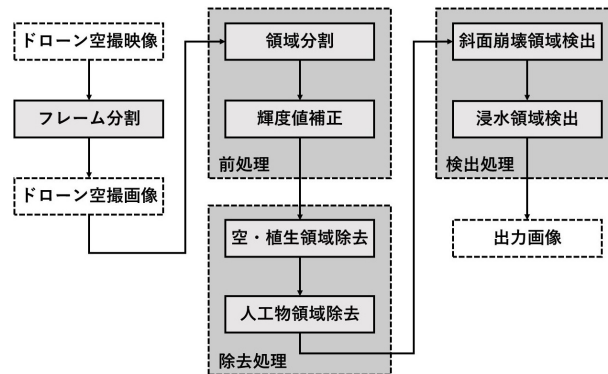


図3.7: 斜面崩壊領域検出（実験 □）

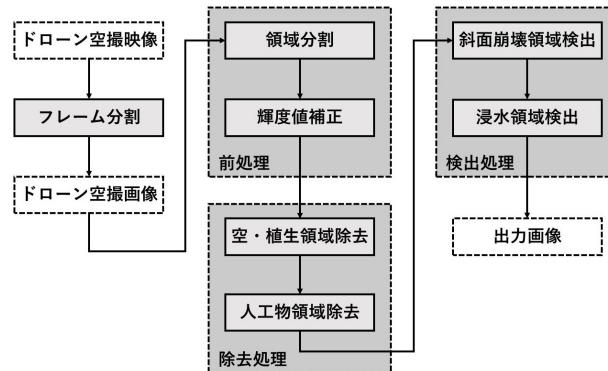


図3.8: 斜面崩壊領域検出（実験 □）

3.4 精度評価

目視判読による斜面崩壊・浸水領域の正解データを手動で作成し、画素数単位での適合率 (Precision)、再現率 (Recall)、F 値 (F1-score) にて精度評価を行った。適合率、再現率、F 値の概念図と導出式を図3.19と siki01～siki03 に示す。TP(True Positive) は正しく検出した画素、FP(False Positive) は誤検出した画素、FN(False Negative) は未検出の画素、TN(True Negative) は非検出対象画素を正しく未検出とした画素を表す。また、適合率は検出画素全体における正解画素の割合、再現率は正解画素全体における検出画素の割合、

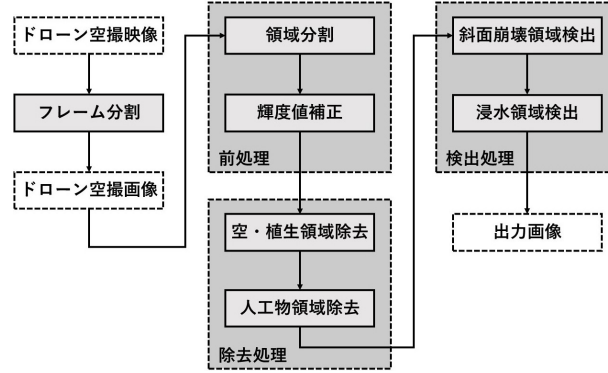


図3.9: 浸水領域検出（実験 □）

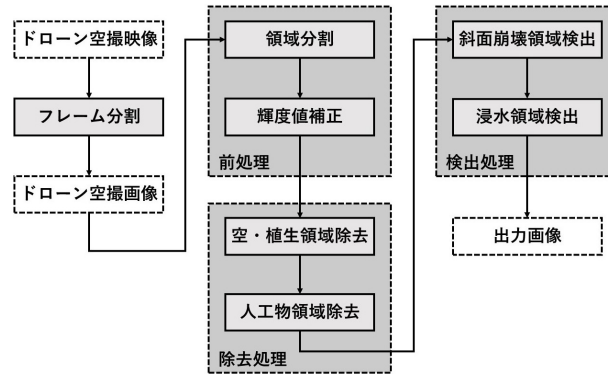


図3.10: 浸水領域検出（実験 □）

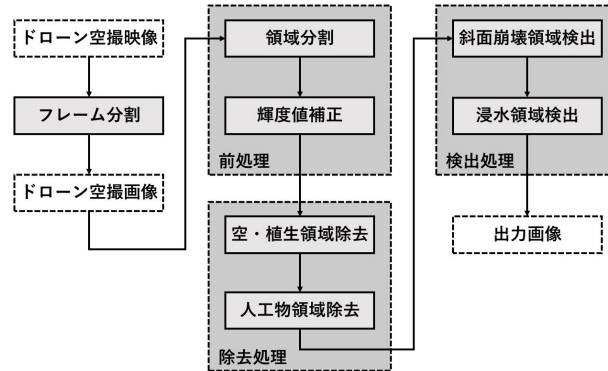


図3.11: 植生領域検出（実験 □）

F 値は適合率と再現率の精度を 0 から 1 の範囲で表した指標である。なお、F 値の値が高い程精度が高いことを表す。最後に、本研究にて正解画像として作成した画像と精度評価結果を図?? 図??、表3.4に示す。

$$precicsion = \frac{TP}{TP + FP} \quad (3.1)$$

$$recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (3.2)$$

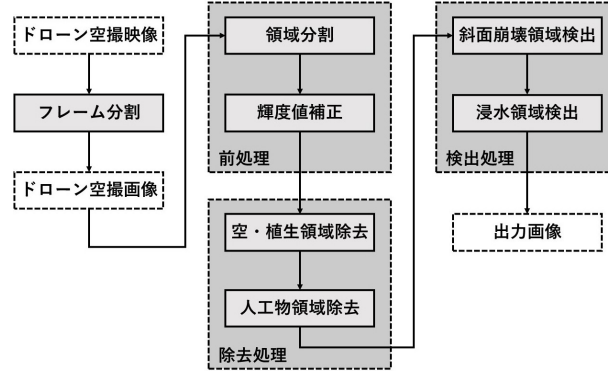


図3.12: 植生領域検出（実験 □）

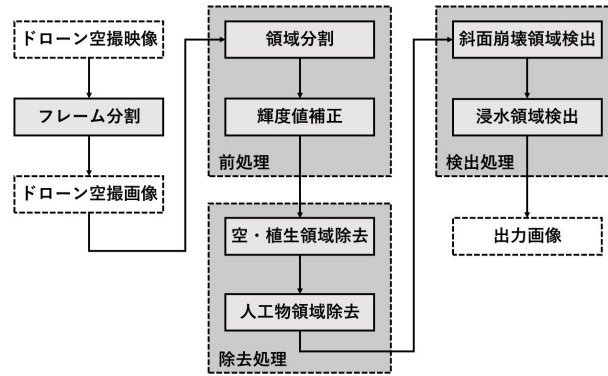


図3.13: 空領域検出（実験 □）

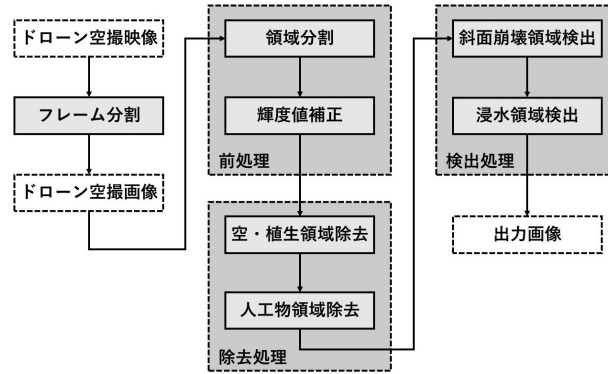


図3.14: 空領域検出（実験 □）

$$F_1 = \frac{2}{\frac{1}{recall} + \frac{1}{precicsion}} = 2 \times \frac{recall * precicsion}{recall + precicsion} \quad (3.3)$$

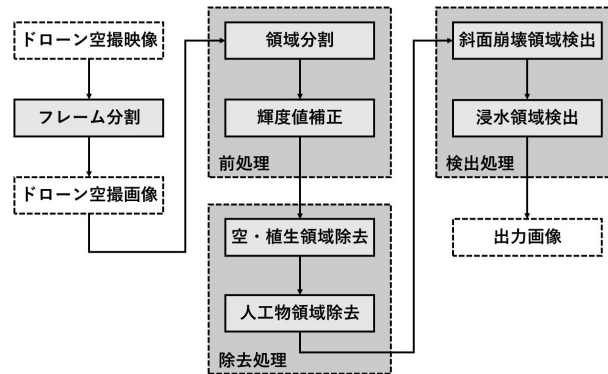


図3.15: 瓦礫領域検出（実験 □）

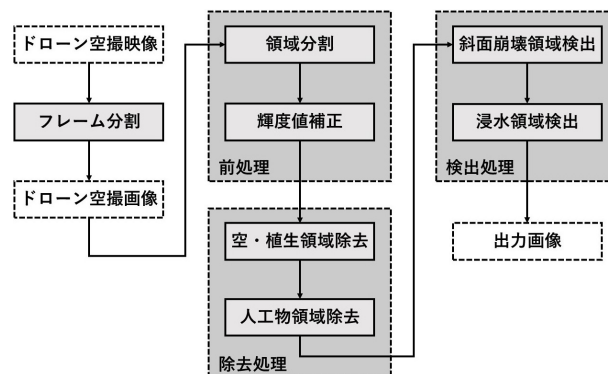


図3.16: 瓦礫領域検出（実験 □）

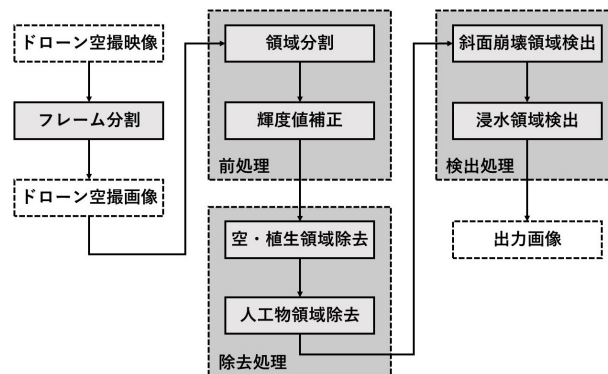


図3.17: 建物領域検出（実験 □）

3.5 考察

3.6 結論

本研究では

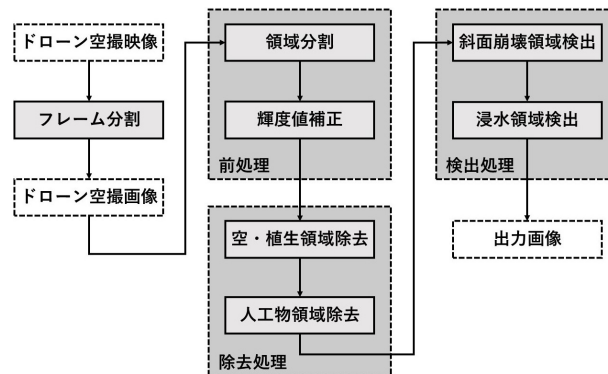


図3.18: 建物領域検出（実験 □）

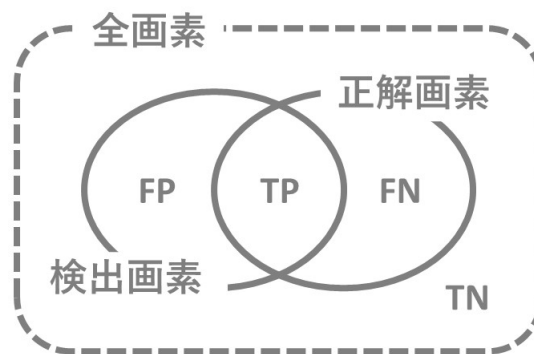


図3.19: 精度評価概念図

表3.4: 精度評価

実験	適合率	再現率	F 値
実験 □	適合率	再現率	F 値
実験 □	適合率	再現率	F 値

3.7 今後の課題

斜面崩壊・浸水領域の判別 土砂とか畑とかどうするか 中山さんバクリ問題 浸水領域の道路抽出 地図とのレジストレーション 瓦礫・建物領域除去の精度 その他人工物の誤検出

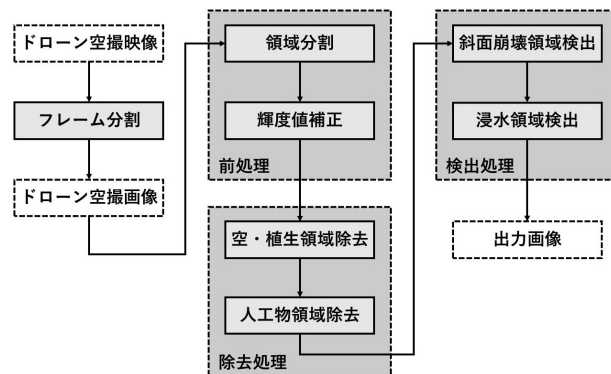


図3.20: 斜面崩壊領域正解画像 (実験 □)

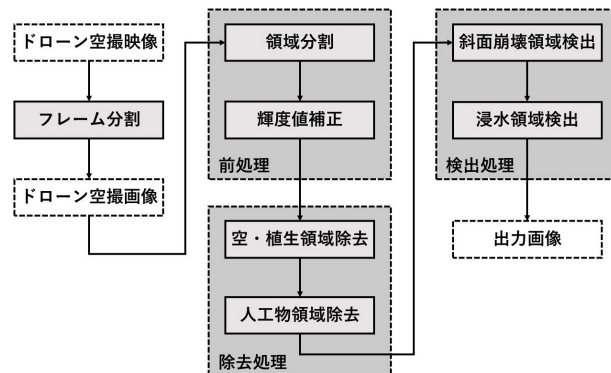


図3.21: 斜面崩壊領域正解画像 (実験 □)

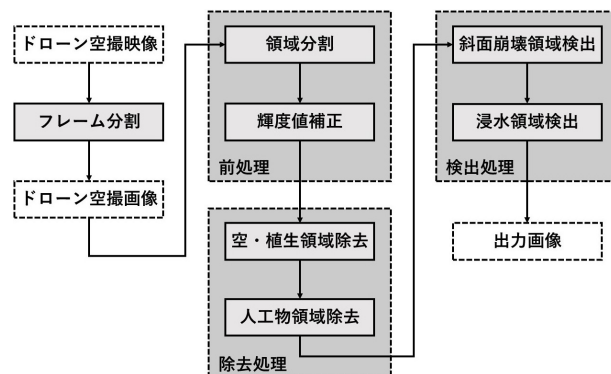


図3.22: 浸水領域正解画像 (実験 □)

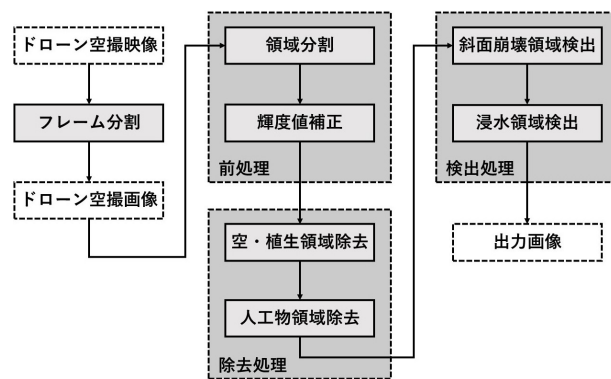


図3.23: 浸水領域正解画像（実験 □）

参考文献

- [1] 国土交通省気象庁. 大雨や猛暑日など（極端現象）のこれまでの変化. https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html.
- [2] 総務省消防庁. 特集 1 平成 29 年 7 月九州北部豪雨の被害と対応. <https://www.fdma.go.jp/publication/hakusho/h29/items/special1.pdf>.
- [3] 中山駿, 佐治斉. 空撮画像を用いた土砂検出. 静岡大学情報学部情報科学科佐治研究室, 2019.
- [4] 尾崎敬二. 小型無人航空機搭載デジタルカメラによる単一空撮可視光画像から推定する植生指標. 日本画像学会誌 第 57 巻 第 3 号 : 302-307, 2018.
- [5] John D. Austin Robert Cromartie Ari Geselowitz Trey Greer Bart ter Haar Romeny John B. Zimmerman Stephen M. Pizer, E. Philip Amburn and Karel Zuiderveld. Adaptive histogram equalization and its variations, 1987.
- [6] 国土交通省国土地理院. 平成 29 年 7 月九州北部豪雨に関する情報. https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H29hukuoka_ooita-heavyrain.html.

謝辞

本研究をすすめるにあたり、熱心なご指導、適切な御助言をいただきました佐治斉教授に、厚く御礼申し上げます。

また、数々の御意見、御協力いただきました佐治研究室の皆様に深く感謝いたします。

以上