

CCTVカメラによる被災状況の把握手法

～地震による被害箇所を背景差分法で検出する際のノイズ除去に最適な画像枚数の検証～

今野 新・関谷浩孝・蘆屋秀幸

1. はじめに

地震発生時に行政機関は被害状況を迅速に把握する必要がある。国土交通省では管理する河川や道路等にCCTV（Closed Circuit Television）カメラを設置し、地震発生時にはCCTVカメラで撮影する画像から被害状況の把握を行っている。しかし、地震の規模が大きく被害の可能性がある地域のCCTVカメラの台数が多くなるほど、映し出している画像を確認する時間は長くなる。

そこで国土技術政策総合研究所では、設定震度以上の市区町村内に位置するCCTVカメラが映し出している画像を平常時の画像と比較し、画像に映し出された被害箇所を差分（変化）として検出することで初動対応を支援する研究を行っている。差分を検出するアルゴリズムは数多く提案されているが、100%の精度を有するものはない。地震発生直後の初動対応を支援するためには、限られた時間で得られる少数の画像からノイズ（例えば、車体や人物等の移動体）を除去する手法を検討する必要がある。そこで本稿では、少数の画像列からノイズを除去する背景差分法の構成を検討し、ノイズ除去に最適な画像枚数について検証した結果を報告する。

2. 少数の画像列に基づく背景差分法の構成

本稿で用いる背景差分法は図-1のように2つのアルゴリズムから構成される。1つは画像列からノイズを除去（背景画像を生成）するアルゴリズムであり、もう1つは地震発生直後の背景画像を平常時の背景画像と比較（差分画像を生成）するアルゴリズムである。なお、背景画像及び差分画像の生成前後に画像を平滑化する処理を行うが、紙面の都合により本稿での詳細な説明は割愛する。

2.1 背景画像を生成するアルゴリズム

ある特定のCCTVカメラの特定の撮影方向で切出した時刻 t における「背景画像」 B_t は、同一方

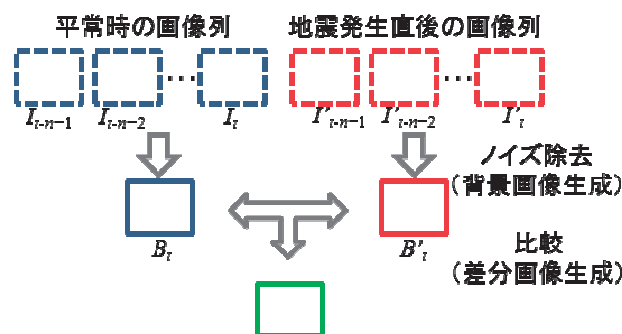


図-1 少数の画像列に基づく背景差分法の構成

向で切出した直近の n 枚の画像列 I_{t-n+1} 、 I_{t-n+2} 、 \dots 、 I_t から生成する。Piccardi¹⁾が分類した7種類のアロリズムの多くは数十枚以上からノイズを除去している。本稿では、少数の画像列から背景画像を生成可能なアロリズムのうち、高い精度を有することが多くの研究から報告されている「時間中央値フィルタ」¹⁾を用いる。具体的には、画像内の画素 (i, j) における画素値を I_{ij} とし、medianを入力ベクトルの中央値（画素値を小さな方から並べる際に真ん中に位置する画素値）を返す関数として、次のように計算する。

$$B_{ij}^{(t)} = \text{median} (I_{ij}^{(t-n+1)}, I_{ij}^{(t-n+2)}, \dots, I_{ij}^{(t)}) \dots \text{式(1)}$$

2.2 差分画像を生成するアルゴリズム

地震発生直後と平常時の2枚の「背景画像」を比較し「差分画像」を生成するアルゴリズムについては、Radkeら²⁾が画素単位で差を求めるアルゴリズムと、日照変化を考慮しヒストグラム（横軸に0～255の画素値、縦軸に画素数をプロットしたグラフ）の差を求めるアルゴリズムに分類している。本稿では、比較のため両方の代表的なアルゴリズムで検証する。

前者のアルゴリズムとしては、差分画像のヒストグラムを「変化部分」と「ノイズ部分」に分離する際、画素値の閾値を自動的に決定する大津の2値化³⁾を用いる。後者のアルゴリズムとしては、2枚の「背景画像」に対する2次元画素値ヒストグラム（2枚の画像の画素値を2軸とし、2枚の同じ座標における画素値のペアのヒストグラム）を用いる手法⁴⁾（以下「2次元画素値ヒストグラ

Validation of the Optimal Number of Images for Removing Noises to Subtract Damaged Spot by Earthquake

ムの方法」という。)を用いる。日照変化の影響を受けず 2 枚の背景画像が全く同一と仮定すると、2 枚の同じ座標における画素値は同一となるため、2 次元画素値ヒストグラムは 2 軸から等距離に位置する直線上 (図-2 の直線 l) に並ぶ。この直線から外れる分布のうち、直線の近傍にある画素値を日照変化によるノイズとみなし、これらの画素値が平均値 0、標準偏差 s のガウス分布に従うと仮定する。この標準偏差 s を調整パラメータとし、ガウス分布より外側の画素値を「変化」とみなす。調整パラメータ s を大きくするとノイズとみなす日照変化の影響範囲は拡大できるが、微小な「変化」も除去されることとなる。

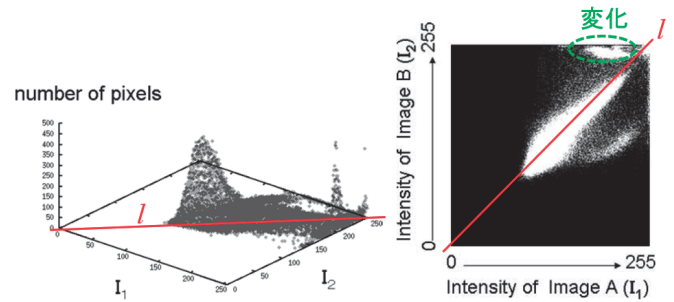


図-2 二次元濃度ヒストグラム⁴⁾

3. 必要な画像枚数の検証と結果

前章で構成した背景差分法を用いて、ノイズ除去に最適な画像枚数を検証する。CCTVカメラに被害が映し出される程の大きな地震 (例えば震度4以上) は頻繁に発生しない。被害を映し出した画像が得られる場合でも、ノイズ除去のため複数の画像列として取得することは稀である。そこで本稿では、代表的な画像列に地震により想定される被害を書き加えた疑似画像を作成し、書き加えた被害を「変化」と定義して精度を検証する。

3.1 使用データ

背景差分法の研究用に公開されている画像⁵⁾から、実際に運用しているCCTVカメラの撮影方向と類似している画像列として4種類の場面の画像列を用いた。例えば「晴れの日」の場面では、平常時の画像列として図-3に示す5枚の画像を用い、地震発生直後の画像列として図-4に示すように図-3とは異なる時点の画像列に対して被害を書き加えた5枚の画像を用いた。地震により発生した亀裂として2本の線を書き加えている。参考として平常時の画像列から生成した背景画像と、被害を書き加えた画像列から生成した背景画像を図-5に示す。移動する車体を除去していることを確認できる。

残りの3種類の場面でも5枚の画像列を用いるが、紙面の都合により代表的な1枚について以下に記述する。



図-3 晴れの日 の画像列 (平常時)

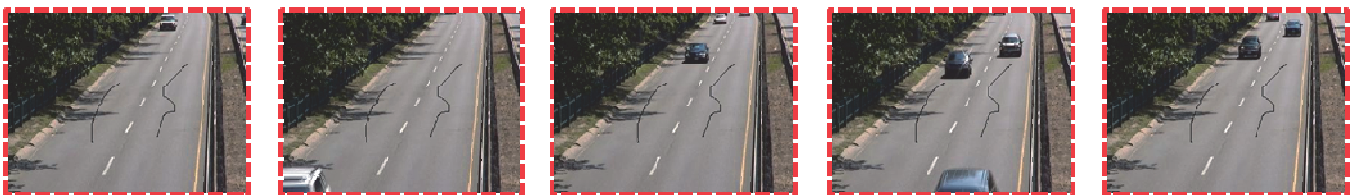


図-4 被害を書き加えた画像列 (図-3とは異なる時点)



図-5 平常時の画像列から生成した背景画像 (左) と被害を書き加えた画像列から生成した背景画像 (右)

「風のある日」の場面の平常時の画像例を図-6 (左) に示す。地震発生直後の画像として、図-6 (右) に示すように落下物として画像の下方に三角及び四角の黒塗り領域、及び細い線を別の時点の画像へ書き加えた。

「みぞれの日」の場面の平常時の画像を図-7 (左) に示す。地震発生直後の画像として、図-7 (右) に示すようにスタック車両として自動車程度の大きさの黒塗り領域、交通障害物として1車線分を塞ぐ1本の線、建物に積もった積雪として2本の線を書き加えた。

「夜間」の場面の平常時の画像を図-8 (左) に示す。地震発生直後の画像として、図-8 (右) に示すように落石や亀裂として右側に線と長方形を書き加えた。

3.2 検証方法

疑似的な被害を書き加えた箇所を正解箇所とし、差分画像に一部でも正解箇所が含まれる箇所数を正検出数 T_P とする。差分画像に正解箇所でない箇所を検出した箇所数を誤検出数 F_P 、正解箇所を検出しない箇所数を未検出数 F_N とする。誤検出を表す評価指標として $precision = T_P / (T_P + F_P)$ 、未検出を表す評価指標として $recall = T_P / (T_P + F_N)$



図-6 風のある日の画像例 (左) と被害を書き加えた画像例 (右)

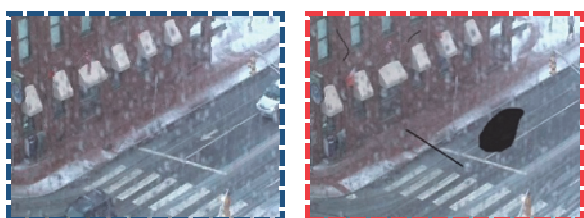


図-7 みぞれの日の画像例 (左) と被害を書き加えた画像例 (右)



図-8 夜間の画像例 (左) と被害を書き加えた画像例 (右)

を用いる。 F_P と F_N が0であると精度が良いことから、いずれの評価指標も1に近い値であるほど精度が高いことを示す。

3.3 結果と考察

4種類の画像枚数を1枚から5枚まで1枚ずつ増やした場合に出力された「差分画像」について、「2次元画素値ヒストグラムの方法」を用いた場合の結果を図-9に、「大津の2値化」を用いた場

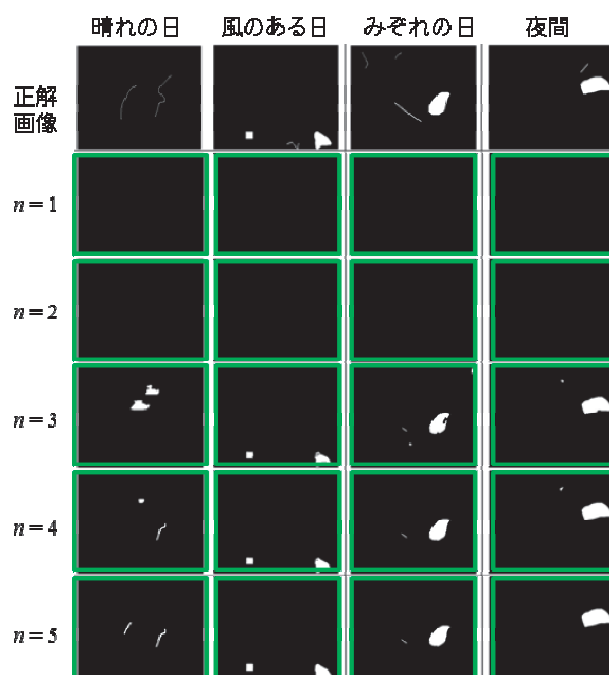


図-9 出力された差分画像 (2次元画素値ヒストグラムの方法)

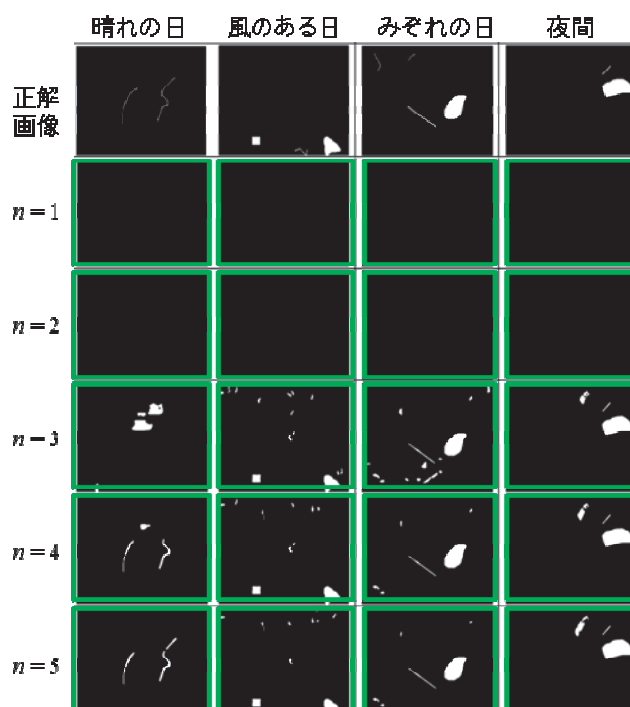


図-10 出力された差分画像(大津の2値化)

合の結果を図-10に示す。図-9と図-10の差分画像から画像枚数別に正検出数 T_P 、誤検出数 F_P 、未検出数 F_N をカウントし、*precision*、*recall* を求め、4種類の場合に対する平均値を求めた。誤検出と未検出はトレードオフの関係にあると考えられることから、縦軸を *precision* とし、横軸を *recall* としたグラフに画像枚数別に平均値をプロットした結果を図-11に示す。図-11より、画像枚数が増えるにつれ「2次元画素値ヒストグラムの方法」及び「大津の2値化」ともに精度が上がることを確認できる。「2次元画素値ヒストグラムの方法」はどの画像枚数でも *precision* の値の方が *recall* よりも高いことから未検出よりも誤検出を防いでいる。画像枚数が5枚の場合に *precision* = 1 となったことから、誤検出を100%防いでいる。このアルゴリズムは日照変化の影響等の微小な変化を考慮していることから「風のある日」に含まれる木々の揺れや「みぞれの日」に含まれる水滴をノイズとして除去することに成功していると考えられる。

逆に「大津の2値化」については、どの画像枚数でも *recall* の値の方が *precision* よりも高いことから誤検出よりも未検出を防いでいる。画像枚数を4枚から5枚へ増やしても *recall* = 0.875 という値に変化が無いことから、未検出を最大限に防ぐには4枚で十分であると言える。

4. まとめ

地震発生直後の限られた時間内に得られる画像から被害箇所を背景差分法で検出する際、本稿で用いた検証方法では「2次元画素値ヒストグラムの方法」を用いると5枚の画像列で誤検出を100%防ぐ結果となった。今後は運用しているCCTVカメラが撮影した画像を用いて検証し、精度を向上させて試験運用することを予定している。

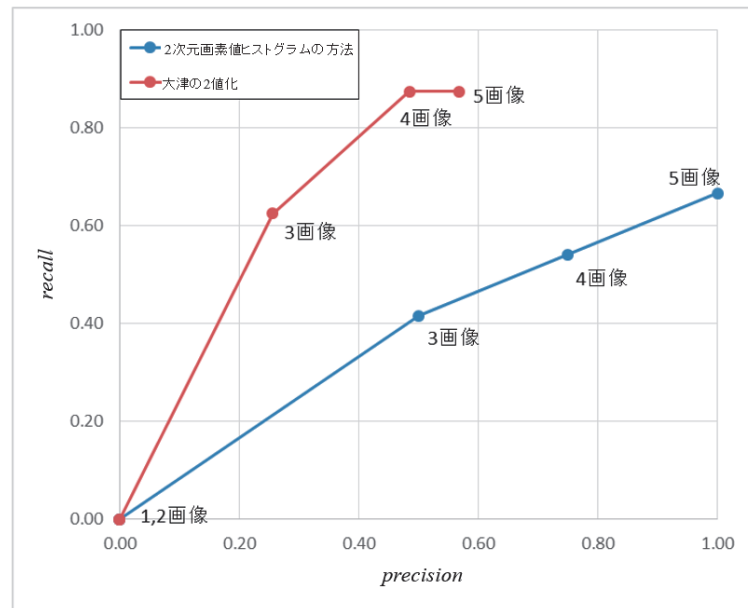


図-11 画像枚数別の *precision* と *recall* (右上にプロットされるほど精度は高い)

参考文献

- 1) M. Piccardi: Background subtraction techniques : a review , IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics , pp.3099-3104, 2004.
- 2) R. J. Radke, S. Andra, O. Al-Kofahi and B. Roysam : Image Change Detection Algorithms : A systematic Survey, IEEE transactions on image processing, Vol. 14, No. 3, 2005
- 3) 高木幹雄、下田陽久：新編画像解析ハンドブック、pp.1520～1521、東京大学出版会、2004
- 4) 喜多泰代：二次元濃度ヒストグラムを用いた画像間変化検出、電子情報通信学会論文誌、電子情報通信学会、Vol.J84-D-II、No.10、pp.2201～2211、2001
- 5) Yi Wang et al. : ChangeDetection.NET (CDnet), <<http://www.changedetection.net/>>, (入手2018.7)

今野 新



国土交通省国土技術政策総合研究所社会資本マネジメント研究センター社会資本情報基盤研究室 研究官
Arata KONNO

関谷浩孝



国土交通省国土技術政策総合研究所社会資本マネジメント研究センター社会資本情報基盤研究室長、博士 (工学)
Dr. Hiroataka SEKIYA

蘆屋秀幸



国土交通省国土技術政策総合研究所社会資本マネジメント研究センター 情報研究官
Hideyuki ASHIYA