

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 31 日現在

機関番号：15401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26750131

研究課題名(和文)地震動情報と光学センサ画像情報の統合処理による建物被害推定モデルの構築

研究課題名(英文) Development of building damage estimation model integrated from seismic intensity and optical image analysis

研究代表者

三浦 弘之(Hiroyuki, Miura)

広島大学・工学研究院・准教授

研究者番号：30418678

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、地震前後に撮影された高分解能光学センサ画像に対して、非線形写像法による幾何補正、ヒストグラム平坦化による画素値補正、テクスチャ解析を応用した変化検出により、倒壊建物を判別する指標を開発した。さらに、2016年熊本地震の航空写真データ、建物被害データおよび震度データから、画像テクスチャ指標と震度情報の統合処理により、倒壊建物の発生確率を推定するモデルを構築した。

研究成果の概要(英文)：Building damage detection technique is developed by utilizing non-linear mapping-based geometric correction, radiometric correction by histogram equalization, and change detection from image texture analysis. Building damage estimation model is developed integrated from seismic intensity and the proposed image texture feature using the aerial photographs, building damage data and seismic intensity data observed in the 2016 Kumamoto earthquake.

研究分野：地震工学，防災リモートセンシング

キーワード：地震被害 リモートセンシング 非線形写像 テクスチャ解析

1. 研究開始当初の背景

近年、大地震などの災害直後の被災状況や被害分布を把握するために、人工衛星によるリモートセンシング画像が広く利用されてきている。その中でも光学センサ画像は可視情報を含むことから被害の判読には大変有用である。しかし、災害直後は緊急的に画像を取得する必要があり、地震前画像と大きく異なる条件下での撮影となる場合が多く、画像ごとに地物の投影方向や傾斜角が異なるために、単純な重ね合わせによる画像処理では被害を自動判読することが困難であった。

また、二時期のリモートセンシング画像には災害による変化だけでなく、地物の季節変化や経時変化が含まれるため、画像情報のみから災害発生箇所と経時変化を判別することは容易ではない。このような誤検出を軽減するには、予想される地震動が大きな地域では被害発生確率が高いことを考慮して、地震動情報と画像情報の両者を用いて被害分布を推定する方法が有効と考えられる。

2. 研究の目的

上記に示す問題から、光学センサ画像による迅速な被害把握のためには、簡便かつ自動的に位置合わせ手法・被害検出に有効な指標の抽出、および地震動情報と画像情報の統合処理による被害の推定手法の確立が必要である。

本研究では、被災地を撮影した高分解能光学センサ画像に対して非線形写像法を適用し、撮影条件の異なる画像間にも適用可能な建物被害の自動検出手法を開発するとともに、地震動強さ情報との統合処理により、建物被害分布を迅速に推定するモデルを構築する。

3. 研究の方法

画像データ間の高精度な位置合わせを実現するため、既往の文献(中村・他、2002)を参考にしながら非線形写像法の計算アルゴリズムを構築する。また、そのアルゴリズムの有効性を検討するために、撮影時期の異なる画像データに適用するだけでなく、撮影時期や分解能の異なる数値標高データに対しても適用し、位置誤差が軽減されることを確認する。

また、地震動予測解析の高度化に資するために、近年の大地震による観測データおよび地盤モデルから細密な震度分布を推定する方法を検討するとともに、過去に発生した大地震による震度分布データを整理し、地震の規模と震度6弱以上ないし震度7の発生面積の関係を検討する。

画像解析に関しては、1995年兵庫県南部地震における被災地を対象として、災害前後の航空写真を取得する。震度7で甚大な被害が生じた神戸市東灘区や比較的倒壊建物が少なかった芦屋市の一部を対象として、非線形写像法を適用し、精度の高い位置合わせを行

った上で、建物被害を抽出するための画像指標に関する検討を行う。得られた指標を基に、倒壊建物を判別する方法を検討する。

さらに、2016年4月に発生した熊本地震において撮影された航空写真に対しても、各種テクスチャ指標を計算し、建物被害データとの比較から、倒壊建物の判別手法の高度化を行う。また、震度6弱～震度7までの地域に対して画像解析を行い、各地域の画像指標の特徴を整理し、震度階別の画像指標による倒壊建物の判別式を構築する。

4. 研究成果

(1) 非線形写像法による幾何補正

中村・他(2002)による方法を参考にして構築した非線形写像アルゴリズムの流れを図1に示す。この方法はそれぞれの画像を小領域に分割し、小領域毎に画像間の誤差が最小となる移動ベクトルを求める(探索)ことで幾何補正を施す手法で、移動ベクトルが求めにくい箇所については、周囲のベクトルに合わせて移動ベクトルを修正する(協調)ことで、精度の高い位置合わせを行うものである。

図2は地震前後にそれぞれ異なる撮影条件で取得された人工衛星画像であり、本研究による非線形写像法により求めた移動ベクトルの分布を図右に示す。地域によって色(ベクトルの大きさ)や矢印の方向(ベクトル方向)が変化しており、細密な幾何補正が行われていることが確認できる。

本手法を数値標高データに対して適用した場合における、災害前後のデータの誤差の分布を図3に示す。未補正のデータでは誤差の平均が負側に大きく偏っているのに対して、本手法により補正を行った後では、誤差

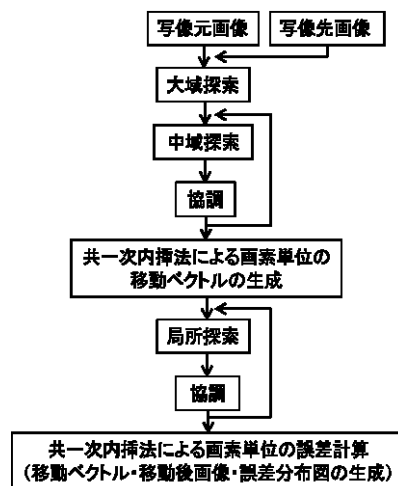


図1 非線形写像による幾何補正



図2 地震前後の画像と移動ベクトル

がゼロに近づき、標準偏差も小さくなっており、本手法の有効性が確認できる。

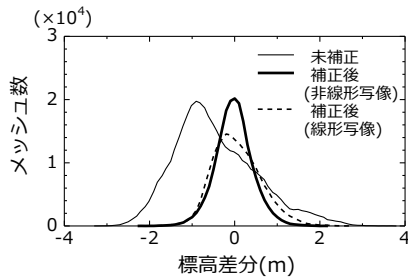


図3 幾何補正後の誤差分布

(2) 地震動予測手法の高度化

地震動予測手法の高度化に資するために、大地震での震度データおよび地盤データから細密な震度分布を推定する方法を検討した。ここでは、近年の大地震により観測された震度データから観測点の地盤データによる地盤増幅率を除すことで、硬質地盤上での地震動強さを求める。多地点での硬質地盤上の地震動強さを空間補間した上で、地盤データによる地盤増幅率を掛け合わせることで、地表面での細密な震度分布を得た。

過去の大地震による震度データと併せて地震規模（マグニチュード）と震度6弱以上および震度7の発生面積の関係を整理したものを図4に示す。これらの関係式を用いることにより、マグニチュードが与えられれば、震度6弱以上の発生領域を概略把握できる。

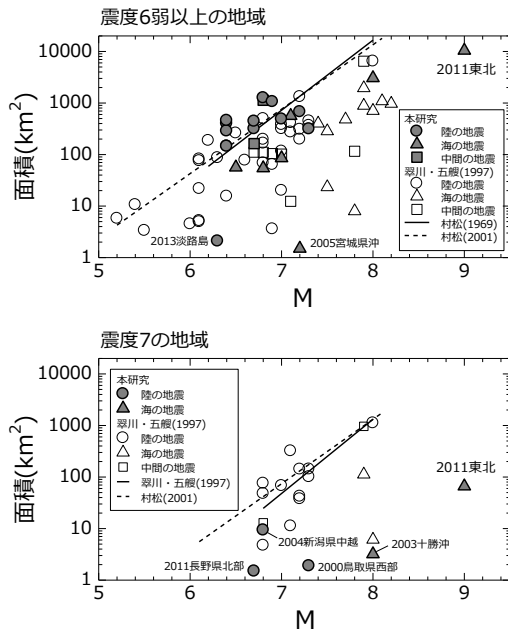


図4 地震規模と激震動の発生面積の関係

(3) テクスチャ解析による倒壊建物の検出
本研究で採用した災害前後の画像による倒壊建物の検出手法を図5に示す。まず、非

線形写像法により位置合わせを行った二画像に対して、撮影条件の違いにより生じる画素値の偏りを補正するためにヒストグラム平坦化を施す。次に、テクスチャ解析を行うために、画像の小領域に対して同時生起行列（GLCM）を計算し、テクスチャ指標のひとつである異質度（DIS）を算出する。DISは建物屋根のように平坦な画素が連続する箇所では低い値を示すのに対して、瓦礫のように様々な画素値をもつ地物が散乱する箇所では高い値を示す。倒壊した建物におけるDISを計算した例を図6に示す。地震前の建物屋根面ではDISは低い値であるのに対して、地震後に瓦礫が散乱する箇所ではDISが高くなっていることがわかる。屋根面が複雑な形状の建物では、地震前の画像でもDISが高くなる可能性があることから、地震により倒壊した建物を判別するには、地震後の画像でのDIS（地震後 DIS）が高い箇所および地震前後の正規化 DIS 比（NDI）が増大した箇所の両者を満たす箇所を抽出することとした。

2016年熊本地震における航空写真データおよび建物被害データから、震度7の益城町における倒壊建物と無被害建物の地震後 DIS

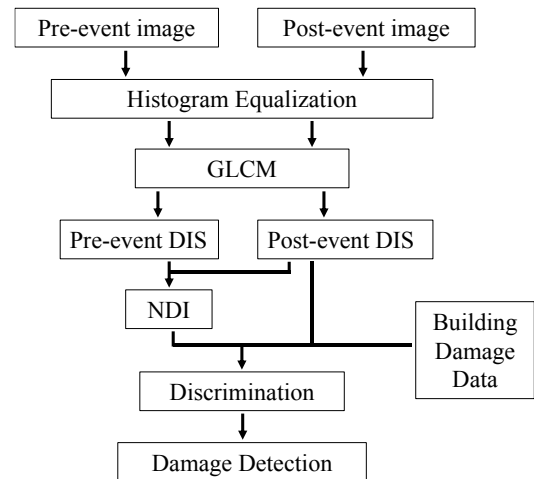


図5 テクスチャ解析による倒壊建物検出

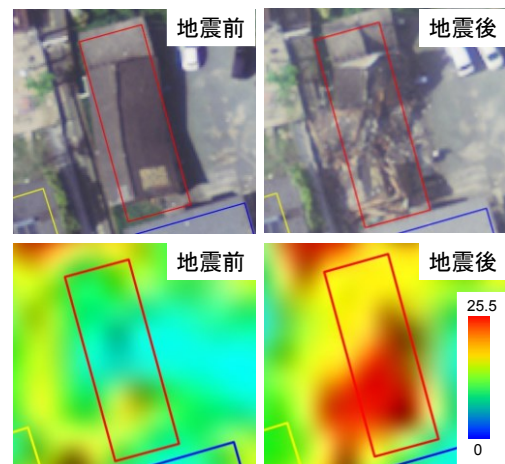


図6 地震前後のDISの比較

と NDI を計算した結果を図 7 に示す。倒壊建物は地震後 DIS, NDI とともに高い傾向にあるのに対して、無被害建物は両者とも全体的に小さい。そこで、両者を判別する関数を線形判別分析により求めた結果を図中の実線で示す。この判別式により判別スコア z が正となる建物を倒壊建物、負となる建物をそれ以下の被害建物と判別することにより、倒壊建物を検出した。

(4) 震度別のテクスチャ指標の特徴分析

熊本地震における震度 6 弱、震度 6 強の地域に対しても同様の解析を行い、地震後 DIS および NDI の特徴を分析した。これらの地域における地震後 DIS と NDI の分布を図 8 に示す。ヒストグラム平坦化を施したため、いずれの地域でも無被害建物の平均値は地震後 DIS で 10~15 程度, NDI はおおよそ 0 と安定していることがわかる。また、益城町のデータから構築した判別関数と比べると、多くの無被害建物は判別関数より下位に位置しており、ある程度の精度で判別できていることがわかる。これらのデータを計算し、倒壊建物の割合を判別スコア z 値と震度別に整理したものを図 9 に示す。図中の円の大きさおよび数値は倒壊建物の割合を表しており、倒壊の発生確率として利用することができる。

提案したモデルにより、益城町を対象として倒壊建物を判別した結果を図 10 に示す。図上は建物被害データを表し、下が推定結果を表す。被害データを基に検証したところ、

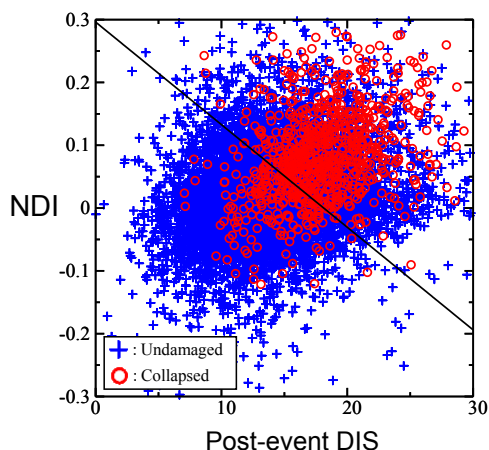


図 7 震度 7 地域における地震後 DIS と NDI の分布

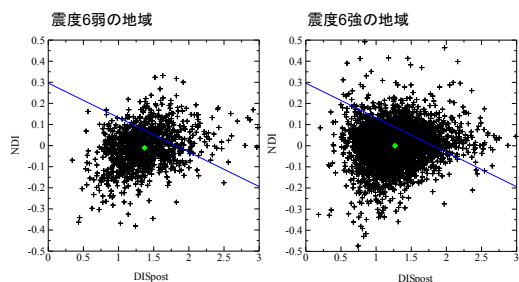


図 8 各震度の地震後 DIS と NDI の分布

倒壊建物、無被害建物ともに 75% 程度の精度で判別できることを確認した。

以上の検討から、画像のテクスチャ指標による判別スコアが建物被害を検出するのに有効であることが確認された。

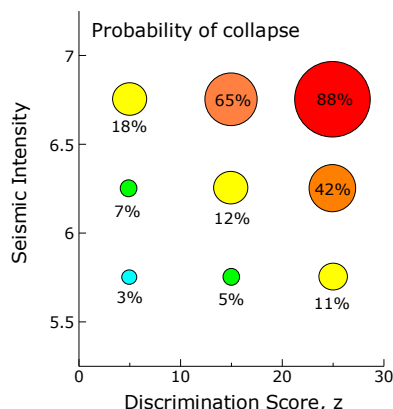


図 9 判別スコア z と震度別の建物被害発生確率モデル

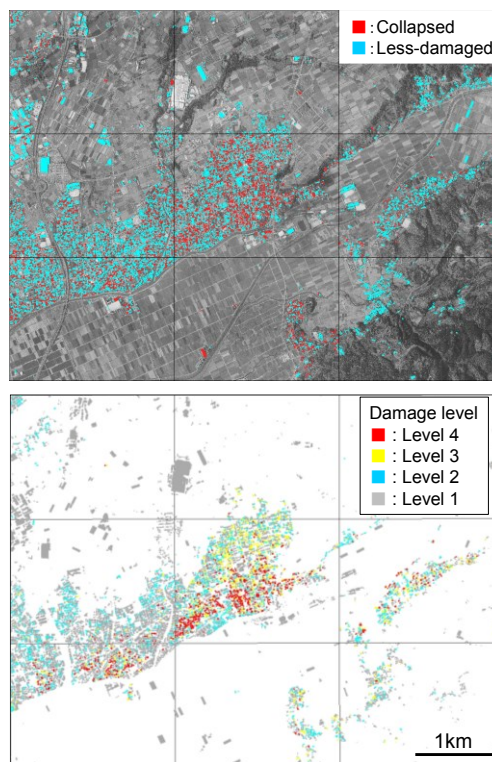


図 10 被害検出結果と被害データの比較

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

1. 三浦弘之, 翠川三郎: 兵庫県南部地震後の被害地震での推計震度分布図に基づく激震動の出現面積, 日本地震工学論文集, 査読有り, Vol.16, No.2, 2016, pp.64-73, doi: 10.5610/jaee.16.2_64
2. 三浦弘之, 弓真由子: 非線形写像法による航空レーザ測量データの幾何補正とそれに基づく 2014 年広島豪雨災害での崩

壊土砂量の推定, 地域安全学会論文集, 査読有り, No.27, 2015, pp.283-291.

3. Miura, H.: Soil Volume Estimation in Debris Flow Areas Using LiDAR Data in the 2014 Hiroshima, Japan Rainstorm, *Proceedings of SPIE Remote Sensing*, 査読有り, Vol.9644, 2015, pp.9644-21, doi:10.1117/12.2194238

[学会発表] (計 6 件)

1. 後藤智博, 三浦弘之: ヒストグラム平坦化とテクスチャ解析による光学センサ画像からの倒壊建物の検出 -2016 年熊本地震における航空写真を用いた検討-, 日本建築学会学術講演梗概集, 2017 年 9 月 3 日, 広島県広島市.
2. Goto, T., Miura, H., Matsuoka, M., Mochizuki, K. and Koiwa, H.: Building Damage Detection from Optical Images based on Histogram Equalization and Texture Analysis Following the 2016 Kumamoto, Japan Earthquake, *Proceedings of International Symposium on Remote Sensing 2017*, 2017 年 5 月 18 日, 愛知県名古屋市.
3. 翠川三郎, 三浦弘之: 2016 年熊本地震の本震・前震・余震の震度分布と住家被害について, 日本地震工学会・大会, P2-31-1-4, 2016 年 9 月 26 日, 高知県高知市.
4. 翠川三郎, 三浦弘之: 長期間の震度データからみた地震ハザード, 地域安全学会梗概集, No.38, pp.163-166, 2016 年 6 月 3 日, 高知県高知市.
5. 後藤智博, 三浦弘之: テクスチャ解析に基づくリモートセンシング画像からの建物被害検出, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第 39 巻, pp.141-144, 2016 年 3 月 6 日, 広島県東広島市.
6. 木原健吾, 三浦弘之: 非線形写像法を用いた高分解能衛星画像からの建物被害検出, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第 38 巻, pp.1013-1016, 2015 年 3 月 8 日, 鳥取県米子市.

[その他]

ホームページ等

<http://home.hiroshima-u.ac.jp/hmiura/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

三浦 弘之 (MIURA HIROYUKI)

広島大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号: 30418678