

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 三富 創

本論文は、ヘリコプターや航空機から撮影されたビデオ映像や航空写真などの空撮画像から、地震による被害地域を自動的に抽出する手法を提案し、これを早期被害把握へ適用する道筋を示したものである。この方法の大きな特徴は、災害発生後の1時期の画像のみを用いて、画像処理手法によって建物倒壊地域などの画素の特徴を抽出し、それらの空間分布から建物1棟の大きさレベルでの被害マップを構築する点にある。人工衛星画像などを用いた被害把握では、災害発生前と発生後に取得された画像を比較して変化地域を抽出する場合が多い。しかし、対象地域における災害発生前の画像が得られているとは限らないため、緊急時の応用に限界があった。本研究では地震発生後の画像のみを用いることから、ヘリコプターなどの機動力を生かした、迅速かつ正確な被害情報の提供への利用が期待される。

論文は全7章から構成されている。

第1章では、研究の背景と目的、論文の位置づけを明確にするとともに、論文の構成を示した。近年、全国の自治体などが取り組んでいる地震防災対策を概観し、地震被害を発災初期に把握する手段として注目されているリアルタイム地震防災システムの課題を述べた。これまで、早期被害予測システムがその代表とされてきたが、推定結果が実際の被害量と大きく食い違うこともあった。そこで、上空からのリモートセンシングによって早期に災害による被害分布を把握し、リアルタイム地震防災システムにこれを統合した早期被害把握の概念を提示した。この被害把握において、災害後の空撮画像のみを用いることの意義を示した。

第2章では、1995年兵庫県南部地震の直後に撮影されたヘリコプターからの地上解像度10～20cm程度のハイビジョン画像を用いて、木造建物が倒壊した地域を画像処理によって抽出する手法の可能性と問題点を整理した。画像の色彩情報から色相、彩度、明度を、輪郭情報からはエッジ強度、エッジ強度の分散、エッジ方向の最頻度を特徴量として選定し、マルチレベルスライス法によって建物被害地域を構成する画素を抽出した。この結果に、建物の大きさにほぼ相当するウィンドウを用いたテクスチャ解析を適用して建物被害地域の推定を行ない、概ね良好な推定結果が得られた。しかし、ここで設定した閾値を1999年トルコ・コジャエリ地震、1999年台湾・集集地震、2001年インド・グジャラート地震の空撮画像(地上解像度10～50cm程度)に適用したところ、良好な結果が得られず、マルチレベルスライス法による倒壊建物の閾値の設定は、同じような条件下の地震災害画像ごとに行なわねばならないことを示した。

第3章では、都市・建築環境が異なる地域に対して、建物被害を共通の閾値で説明する指標について検討した。画像強調処理を行わず、原画像の情報を失わないようにして求めた比演算処理後の色相と彩度、およびエッジ強度の分散、エッジ方向の最頻度の4指標を用いて検討した。ある対象地域では良好な結果が得られたものの、同じ閾値を類似の建築環境の画像に適用した場合、建物倒壊地域の抽出は不十分であった。これは、太陽光の影響などによって色彩情報が受ける影響が大きいことに起因するものと思われた。そこで太陽光の影響が小さいと考えられるエッジ情報のみを用いた場合の検討を行った。エッジ強度の分散とエッジ方向の最頻度に加え、エッジ強度の同時生起行列から求めた角2次モーメントとエントロピーの計4指標を用いた。これらを指標としたマルチレベルスライス法では、トレーニングデータや閾値を設定した兵庫県南部地震の

空撮ハイビジョン画像とその近隣地域を撮影した空撮画像に加えて、トルコ・コジャエリ地震、台湾・集集地震、インド・グジャラート地震の空撮画像についても、建物被害地域を概ね抽出できた。すなわち、「エッジ情報のみを用いたマルチレベルスライス法」では、共通の閾値を用いた建物被害地域抽出の可能性が示された。

第4章では、マルチレベルスライス法に代えて最尤法を適用し、空撮画像からの建物被害地域の自動抽出を試みた。マルチレベルスライス法ではトレーニングデータを設定した後、指標の閾値を決めるために、トレーニングデータが示す値の範囲を調べる必要がある。一方、最尤法ではトレーニングデータから得られる統計量をもとに分類結果が得られ、閾値設定の手間が不要である。そのため、画像が取得されてから早い段階において、被害状況の把握ができる可能性がある。倒壊建物を含む12個ないし9個の分類クラスで分類を行った結果、エッジ情報のみを用いた場合は、異なる地震災害画像についても、同一のトレーニングデータと統計量で建物被害地域を概ね抽出できた。色彩情報のみを用いた場合は、やはり、同一災害における他の地域の画像への適用は難しいことがわかった。

第5章では、兵庫県南部地震の1週間後に取得された、地上解像度約8mの航空機からのマルチスペクトルスキヤナ(MSS)画像を用いて、建物被害地域のスペクトル特性を調べ、最尤法による建物被害甚大地域の抽出を試みた。被害を焼失、建物大被害、建物小被害に分け、これらを含むトレーニングデータを神戸市灘区から抽出した。各バンドにおける相対的なスペクトル特性を調べたところ、市街地では焼失地域の値が最も小さく、建物小被害地域の値が最も大きかったが、その差は小さく、スペクトルパターンも類似していた。建物被害甚大地域を抽出するため、最尤法は、焼失、建物大被害、建物小被害、液化状・グラウンド、鉄道の軌道、植生の計6個の分類クラスで行った。この分類結果をもとにテクスチャ解析を行ったところ、建物被害甚大地域と焼失地域を概ね良好に抽出することができた。航空機による発災後の画像取得は、人工衛星よりも即時性に優れ、さまざまなデータ補正の必要はあるものの、緊急対応のための被害情報として可能性があることを示唆している。

第6章では、兵庫県南部地震における複数枚の空撮ハイビジョン画像と航空写真に対して、エッジ情報のみを用いたマルチレベルスライス法を適用して、閾値の汎用性を確認するとともに、本研究の成果の実用例を示した。航空写真を用いた場合は、抽出画素のテクスチャ解析を2段階で行うことにより、実被害状況と概ね整合する抽出結果を得ることができた。最後に、早期被害把握の統合処理の中で、本研究で開発した空撮画像による建物被害自動抽出手法の運用について提案し、今後の展望を示した。

第7章では、本研究で得られた成果をまとめた。

以上のように、本論文では、地震発生後にヘリコプターや航空機から得られる空撮画像から、画像処理によって建物被害地域を自動的に抽出する手法の開発を行い、この手法を日本および海外の被害地震直後に得られた空撮画像に適用し精度の検証を行った。この手法では、地震後の1時期の画像のみを用いていることから、迅速かつ正確な被害情報を逐次取り込むことが可能で、リアルタイム地震防災システムへの利用が期待できる。このように本研究の結果は、今日の地震時緊急対応において重要な課題である地震被害の早期把握において、きわめて有用かつ実用的な情報を与えている。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。