

論文の内容の要旨

論文題目： 空撮画像を用いた地震による建物被害地域の自動抽出手法の開発

氏 名： 三富 創

本論文では、地震発生後にヘリコプターや航空機をプラットフォームとして得られる空撮画像から画像処理によって木造建物の被害地域を自動的に抽出する手法の開発を行い、開発手法の早期被害把握への適用法をとりまとめたものである。本研究では地上解像度 10～50cm 程度の空撮ビデオ画像と航空写真、および地上解像度約 8m のマルチスペクトラル画像を用いた。人工衛星画像などでは多くの場合、災害発生前と発生後に取得された画像の精密な位置合わせと差分等の方法で変化地域を抽出する。しかし地震発生直後の緊急時に対象地域における災害発生前の画像が都合よく用意されているとは限らない。本研究では地震発生後の画像しか用いていないことから、プラットフォームの機動力を生かした迅速かつ正確な被害情報の提供が期待できる。

以下に本研究の成果を要約して示す。

第 1 章では、本研究の背景と目的、本論文の位置づけ、および本論文の構成を示した。「背景と目的」では、とくに兵庫県南部地震以後、全国の自治体などが一斉に取り組んでいる地震防災対策を概観した。また、広域にわたって発生する地震被害を発災初期に把握する一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についても言及した。このシステムは地震計による地震動モニタリングと地理情報システム (GIS) とを組み合わせた早期被害予測システムに代表される。しかし、被害予測には過去の震災データにもとづいた脆弱性曲線などが主に用いられるため、推定結果が実際の被害量と大きく食い違うこともある。一方、上空からのリモートセンシングでは、被災地に直接触れずに高空間分解能の観測が可能である。「本論文の位置づけ」では、火山災害、土砂災害、洪水などの自然災害および地震被害を把握する手段としてのリモートセンシング利用に関する既往研究と、既存の

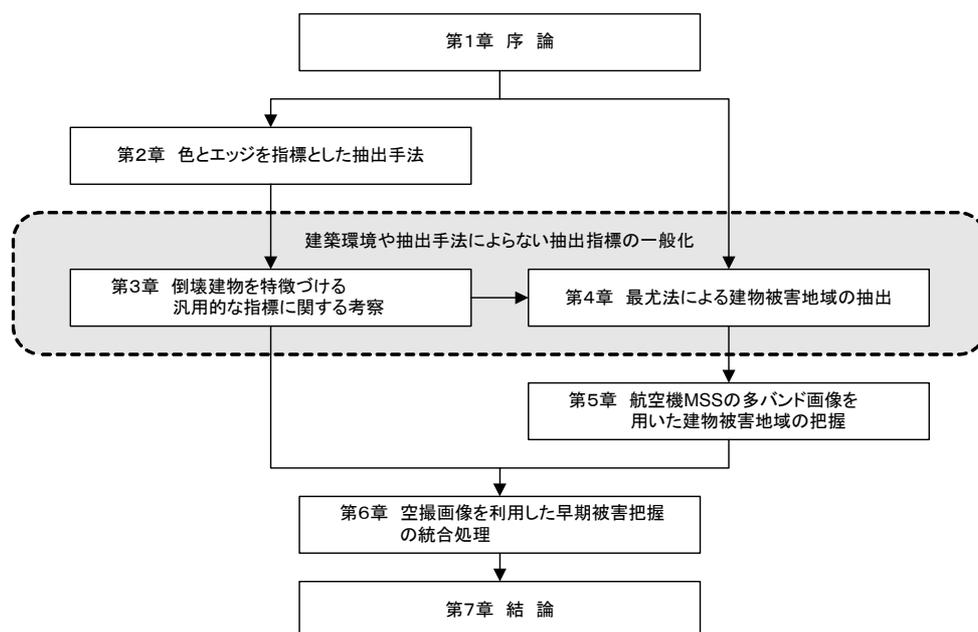


図-1 本論文の構成

リアルタイム地震防災システムにリモートセンシング技術を統合した早期被害把握の概念について整理した。本論文の構成を図-1に示す。

第2章では、1995年兵庫県南部地震の10日後に撮影された空撮ハイビジョン画像を用いて、木造建物倒壊地域を色と輪郭によって特徴づけた。具体的には色彩情報から色相、彩度、明度、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の各特徴量について閾値を設定し、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の抽出を行った。その後、建物1棟に相当するウィンドウを用いた抽出画素のテクスチャ解析により建物被害地域の抽出を行った。その結果、瓦礫が発生している建物被害地域を概ね抽出することができた。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に適用したところ、建物被害の実情を反映した結果が得られなかった。そこであらためて地震災害画像ごとに色相、彩度、明度、エッジ強度、エッジ強度の分散、エッジ方向の最頻度の閾値を決めたところ、被害抽出の精度を改善することができた。以上から、色彩情報とエッジ情報を用いたマルチレベルスライス法による建物被害の自動抽出では、倒壊建物の閾値を適切に設定できれば良好な結果が得られることがわかった。またこの閾値は同じような条件下での地震災害画像ならば、共通に用いることができる可能性を示した。

第3章では建築環境が異なる地域であっても同じ閾値で建物被害地域が説明できるような指標の検討を行った。そのために第2章で用い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を「色彩情報を用いた場合」の指標とした。この4指標を用いたマルチレベルスライス法によって、トレーニングデータを選んだ画像では建物倒壊地域を忠実に抽出した。ところが同じ閾値を類似の建築環境をもつ他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。そこで色相や彩度ほどに太陽光の影響を受けな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。具体的には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「エッジ情報のみを用いた場合」の指標とした。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 1995 年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だけでなく、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でも建物被害地域を概ね抽出することができた。このように、「エッジ情報のみを用いた場合」のマルチレベルスライス法では、やや粗い抽出結果が得られるものの、共通の閾値を用いた建物被害地域の抽出が可能となることを示した。

第 4 章では「色彩情報を用いた場合」と「エッジ情報のみを用いた場合」の 2 通りについて最尤法を適用し、建物被害地域の抽出を試みた。最尤法は第 2 章と第 3 章で用いたマルチレベルスライス法と同様にトレーニングデータを必要とする代表的な分類手法であり、分類精度が比較的高いことが知られている。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、色彩やエッジなどの指標の閾値を決めるために、倒壊建物を含む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平均、分散共分散などの統計量をもとに分類結果が得られる。このことから、閾値設定の手間が不要なため、画像が取得されてから早い段階で被害状況を把握できる可能性がある。分類クラス数は画像上特徴的な地物を中心に、倒壊建物を含む 12 個ないし 9 個とした。その結果、「エッジ情報のみを用いた場合」は、第 4 章と同様に 1995 年兵庫県南部地震だけでなく他の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ることがわかった。「色彩情報のみを用いた場合」も第 4 章と同様に、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、1995 年兵庫県南部地震の 1 週間後に取得された航空機 MSS 画像を用いて建物被害地域のスペクトル特性を調べるとともに、第 4 章で用いた最尤法によって建物被害甚大地域の抽出を試みた。建物被害を焼失、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灘区から抽出した。各バンドにおけるトレーニングデータの平均値から相対的なスペクトル特性を調べたところ、建物分布地域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。しかしその差は小さかった。また、これらのスペクトルパターンも類似した。建物被害甚大地域を抽出するための最尤法分類は、焼失、建物大被害、建物小被害、液化化・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。焼失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抽出することができた。トレーニングデータを抽出した灘区では、焼失建物を含む街区や全壊・大破建物を多く含む街区の分布と比較的一致した結果を得た。さらに東灘区の建物大被害地域、兵庫区会下山公園の南・上沢付近の焼失地域が抽出された。航空機による観測では航空機の姿勢や大気効果、地形等による影響を補正する必要があるものの、本研究では地震発生後の画像しか用いていないこと、航空機による画像の取得は人工衛星プラットフォームよりも即時性に優れていることから、発災時における緊急対応に資する被害情報の提供が可能であることを示唆している。

第 6 章では、第 3 章で述べた「エッジ情報のみを用いた場合」のマルチレベルスライス法を 1995 年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。とくに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、実際の被害状況と概ね整合する抽出結果を得た。最後に、既存の

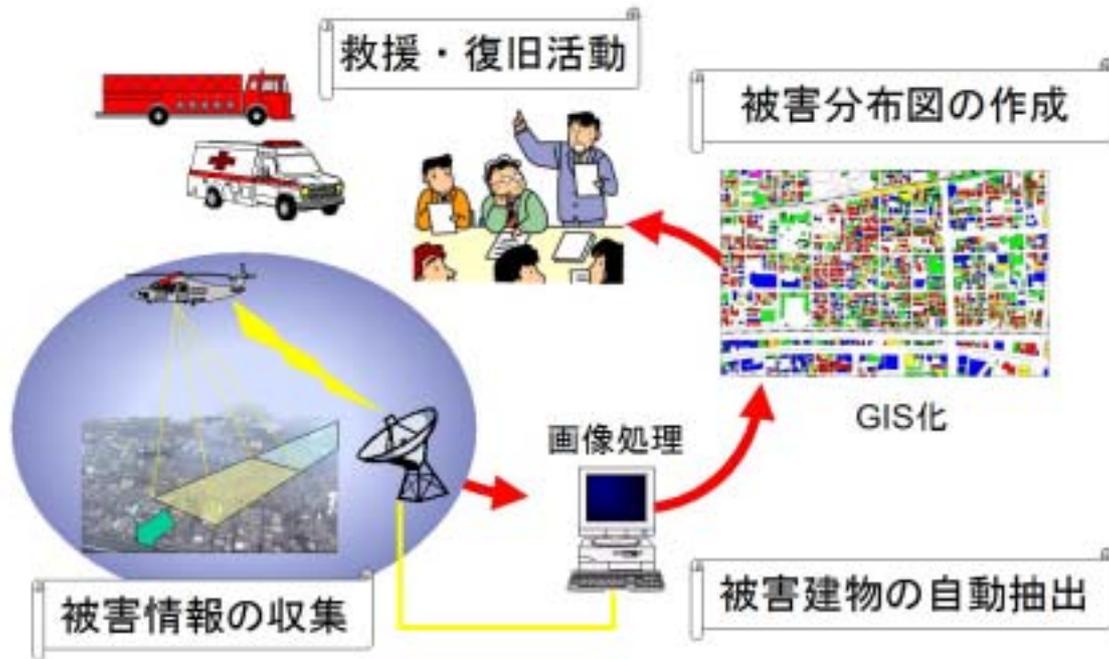


図-2 空撮画像を利用した早期被害把握の概念図

リアルタイム地震防災システムと空撮画像，GIS等を統合した早期被害把握の統合処理の中で，本研究で開発した「エッジ情報のみを用いた場合」と「色彩情報を用いた場合」の運用方法を整理した。

第7章では，本研究で得られた成果をとりまとめた。

以上から，図-2に示すように，地震発生後にヘリコプターや航空機から位置情報つき空撮画像が取得できれば，地震前の画像を用いることなく画像処理によって建物被害の早期把握を行うことが期待できる。この抽出結果によって地震計等による被害予測結果の精度が高められ，緊急対応において必要な被害情報の提供に資することが可能となる。