

論文の内容の要旨

論文題目 **Damage Detection due to Earthquakes Based on Remote Sensing Images Considering Regional and Temporal Variations**

(和訳 リモートセンシング画像に基づく地域および時間変化を考慮した地震被害抽出)

氏名 エストラダ ミゲル ルイス

過去数十年間、世界的に都市化は急激に加速し、自然災害が発生しやすい地域における都市人口は急速に増加している。したがって、自然災害が都市を襲った場合、損害の程度を迅速に評価する新技術の開発が必要である。それには、利用可能な技術およびデータを組み合わせ、新しいモデルを用いて分析しなければならない。人工衛星は数十年前から地表の観測を行っており、居住域の貴重なデータを収集しつづけている。新しい衛星およびセンサの開発競争の結果、情報の利用可能性をより高め、衛星画像の質を改善し、観測領域の幅を広げ、観測間隔をさらに短いものにしていく。これらの事実から、リモートセンシング画像は非常に貴重な情報源であり、人間活動に関連した様々な分野において研究・適用されるのは間違いないといえよう。

本研究の目的は、居住地域で自然災害が発生したときに災害の壊滅的な影響を低減するために、意思決定者が即座に損害程度を知り効果的な方法で救助・救援するために、使いやすく信頼できるツールを開発することである。本研究は、リモートセンシング技術および画像処理技術に基づき、深刻な被害を受けた地域を自動判読し、迅速かつ正確に被害分布図を作成し、メディアにより伝達することを目指している。ここで用いる被害判読法は、地震の前後に取得したリモートセンシング画像の比較分析に基づき、地表面の反射率の変化、すなわち都市における建物崩壊や被害の大きい地域を特定するものである。

上記の最終的な目標に達するため、以下の手順で自動被害判読法の開発を行った。第一に、画像取得における放射量特性の研究を詳細に行った。これにより、取得したそのままのデジタル値(DN)を修正する方法論を明確にし、地表面の反射率に変換することによって、物理量で統計的な比較をすることが可能となる。これらの放射量補正・大気補正は、画像に含まれた情報に基づいており、信頼性は

高く、衛星が観測域を通過したときの大気に関するデータを必要とする放射伝達プログラムの使用を回避することができる。

大気の影響がない場合について、多時期の中解像度画像を合成する数値シミュレーション実験により、平時における DN の変動を解明した。画像の合成では、QuickBird 衛星が観測した高解像度画像（マルチスペクトルのバンドで 2.4m 以下）を使用した。異なったオフセット値（スキャンラインのずれ）を QuickBird 画像に適用し、平坦な点像分布関数を持つと仮定し、中解像度画像を生成した。平時においては、衛星が画像を取得したときの幾何学的な位置の推定誤差により、さらに DN が変動することになる。この誤差を縮小するため、正確な画像位置合わせ手法を用いた。その方法は、相互相関に基づき、中解像度画像のサブピクセル（1ピクセルの辺長以下）のレベルの位置探索を行っている。本論ではピクセルサイズの 5 分の 1 の精度が達成可能なことを実証している。

前章における、DN の平時の変動に関する知見と、位置合わせ誤差を縮小する方法に基づき、中解像度画像の DN の変動に関する実観測画像を用いた分析を、1999 年トルコ・コジャエリ地震前後で取得された無被害地域の画像を用いて行った。異なる時期に取得された 2 組の画像について、反射率の差を計算し、その結果の比較することにより、平時における実際のピクセル値の変動が得られた。地震前の 1 画像、地震後の 2 画像の合計 3 画像について、3 通りの組み合わせで差をとり分析を行った。その結果、大気の影響と衛星と地形の幾何学位置の違いにより、地震被害を受けなかった市街地でも、削除することができない DN の変動が存在することが実証された。さらに本章では、ランドサット TM 5 の画像を用いた被害判読においては、植物の季節変動の影響を受けにくい、波長が短い最初の 3 つの可視バンドを使用することが望ましいことが実証された。しかし、欠点としてこれらのバンドは最も大気の影響を受けやすく、したがって、大気補正を適切に行うことが、被害判読(変化抽出)の信頼性を高める重要な要因の 1 つといえる。

すべての補正を適用した後の、最後のステップは、ピクセルの反射率に関する被害判読(変化抽出)である。被害を表わすピクセルの識別は、スペクトル特性の比較および平時の DN の変動に基づいている。スペクトルの可視領域における反射率の違いは、変化抽出のためのよい指標となることを実証した。強力な統計ツールである主成分分析は、多時期の画像を対比し、被害により生じた可能性のある変化の箇所を示し伝えることができる。それぞれの被害判読の結果は、トルコ・ギョルジュク市の日本建築学会による現地調査データをグランドトゥース（検証用地表データ）として比較した。その結果、現地調査とのよい整合を示していることを確認している。これらの方法を一般化することにより、最終目的である、自然災害による被害判読を容易、迅速かつ低コストで行うツールとすることができる。

結論として、衛星データは、地震だけでなく他の種類の自然災害による被害判読のため、とくに現地調査活動において多くの時間とコストを要するような大都市の被害判読のため、有望な情報源とな

るといえる。衛星技術の急速な進歩と多くの衛星の稼動により、いずれすぐ、ほぼリアルタイムで情報が取得できるようになるものと期待できる。

今後の研究課題としては、異なる衛星およびセンサの使用により、地震と他の自然災害の被害判読能力と正確さを高めることが挙げられる。さらに異なる種類の画像を比較するため、新たな手法を考案し適用することでより一般的な被害判読モデルを構築することも挙げられる。