

[別紙2]

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 エストラダ ミゲル ルイス

近年、都市化の進行は世界的な趨勢であり、これと呼応するように、自然災害による被災者の数は増加傾向にある。地震などの自然災害が都市を襲った場合、被害の分布や程度を迅速に把握することは、救助などの緊急対応や応急復旧策の立案に不可欠である。しかし、とくに発展途上国においては、空間情報データベース、通信手段、交通網などの制約によって、広域にわたる被害の分布を早期に把握する手段がこれまで無かったといっても過言ではない。一方、人工衛星からのリモートセンシングは、観測の広域性や同時性に優れ、空間解像度の制約はあるものの、これまでのデータの蓄積も考慮すると、広域災害における被災状況の把握の有効な手段として期待される。本研究では、世界の都市域で自然災害が発生したときの有効な情報収集手段として、解像度 30m 程度の中解像度光学センサ衛星画像を用いて被害状況を把握するための手法を開発することを目的とした。特に、地震の前後に撮影された衛星データの比較による被災状況評価手法の検討、ならびにその精度や誤差を明確にするための基礎的な検討を行った。中解像度光学センサデータは、近年、その利用が開始された解像度 1m 程度の高解像度データと比較し、価格が低廉であるうえ、過去のデータの蓄積が豊富であることから、実用的な視点からその活用が期待されている。

第 1 章においては、研究の背景と目的を述べ、既往の関連する研究について調査した。人工衛星画像を用いた災害把握に関する研究の現状をまとめるとともに、災害発生時の人工衛星画像の災害救援や応急復旧への利用の意義を明らかにした。また、ごく最近実用化が進みつつある高解像度衛星と中解像度衛星の災害対応への利用における得失をまとめた。さらに本論文の構成について示した。

第 2 章では、地震の前後に取得したリモートセンシング画像の比較に基づき、地表面の反射率の変化、すなわち建物被害の大きな地域を特定するための第一段階として、画像取得における放射量特性を詳細に検討した。取得したそのままのデジタル値(DN)を補正する手法を念入りに調査し、地震前後の画像を直接に比較するために、地表面の反射率に変換することを考えた。これらの放射量補正および大気補正は、画像のヘッダーファイルに含まれる情報に基づいているため信頼度が高く、衛星が観測域を通過したときの大気関連データを必要とする放射伝達プログラムを必要としない利点がある。1999 年トルコ Kocaeli 地震前後の Landsat 衛星画像を対象として処理を行い、放射量補正・大気補正後の画像が、植生や非植生など土地被覆カテゴリの変化が反射率により良く表現されることを示した。

第 3 章では、多時期の中解像度衛星画像の反射率を比較する際の位置合わせの精度を検討し、その精度を画像のピクセル(画素)サイズより高くする方法を提示した。まず、QuickBird 衛星による高解像度画像(マルチスペクトルのバンドで 2.4m 以下)を使用して、2 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を行った。この画像合成による評価では、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ものと仮定して、Landsat 衛星画像を模擬した解像度 28.8m の中

解像度画像を複数生成した。これより、たとえ同じ高解像度衛星画像を用いても、仮想のオフセット値を与えることによって、2つの画像の空間相関係数が低下していくことが示された。したがって、災害前後の画像の位置合わせを正確に行わないと、実際には変化がなくとも、変化があるように相関が低下することが明らかになった。ここでは、位置合わせ誤差を縮小するために、中解像度画像を補間・再分割し、相互相関係数を最大化するような正確な画像位置合わせ手法を用いた。その結果、中解像度画像においてピクセルサイズの5分の1程度の精度で位置合わせが可能となることを示した。

第4章では、前章までの補正を行った多時期の画像に対して、無被害地域の反射率を比較することにより、通常時の反射率の変動幅について検討した。1999年トルコ Kocaeli 地震の前後で取得された無被害地域の地震前1時期、および地震後2時期の画像を用いて、2組の画像における反射率の差を計算し、その分布を求めることによって、平時における実際の反射率の変動が得られた。その結果、たとえ大気・放射量の影響補正、ならびに幾何補正（位置合わせ）を精度良く行った場合でも、地震被害を受けなかった市街地において、植生の変化などによる反射率の変動が存在することが示された。このことから本章では、2時期画像からの地表面変化の評価には、植生の季節変動の影響を受けにくい波長が短い可視バンド（Landsat におけるバンド1、2、3）を使用することが望ましいことを示した。一方、これらのバンドは大気の影響を最も受けやすいため、大気補正を適切に行うことが、変化抽出の信頼性を高める重要な要因であることを明らかにした。

第5章では、すべての補正を適用した後のピクセルの反射率を用いて、変化抽出により被災地域分布を求める試みを行った。被害を表わすピクセルの識別は、スペクトル特性と平時のDNの変動に関する知見に基づいて行った。ほぼ無被害と考えられる都市域における反射率の差の分布から、反射率の2時期変化が、反射率差の分布における標準偏差のプラス・マイナス2倍程度より大きい地点を被災の可能性が高いとみなす方法を提案した。1999年トルコ Kocaeli 地震で最も建物被害の大きかったギョルジュク市に関して、日本建築学会が行った現地調査データとこの推定結果を比較した結果、街区の被害率はよい整合性を示した。さらに、この地域について地震発生のおよそ4年後の高解像度（QuickBird）衛星画像を入手し、推定された被災分布と比較した。その結果、建物1棟単位で識別が可能な QuickBird 衛星において、建物撤去後の空地や仮設住宅となっている箇所が、Landsat 画像から推定した被災地と大変良く対応することが分かり、中解像度衛星画像を用いた地震被災地の評価が実用的に十分可能であることが判明した。

このように本研究では、広域のデータを得やすく、過去のデータ蓄積が豊富な中解像度の光学衛星画像を用いて、災害前後の画像の反射率を比較することによって、建物被害や地盤変状に対応する地域を精度よく抽出することが可能となることを明らかにした。この結果は、画像データの取得頻度のみ高まれば、大規模災害の被害把握において、中解像度衛星データが十分に利用可能なことを示しており、これからの都市防災において極めて有用な知見を提供するものといえる。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。