

## 論文の内容の要旨

氏名：園 部 雅 史

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：異種衛星画像を用いた浸水災害を対象とした災害対応フェーズの災害情報抽出手法に関する研究

近年、台風や短時間豪雨を起因とする洪水や土砂災害が発生し、甚大な被害を与えている。災害直後の対応として行われる概要調査として航空機、UAV (Unmanned aerial vehicle) や現地調査といった手法で緊急調査が行われる場合が多いが、調査時の気象条件によって影響を受けやすいなどの課題も多い。そこで広域かつ周期的に観測が可能である衛星リモートセンシング技術による被害の概要調査や復旧・復興状況の調査に効果的であると考えられる。しかしながら、解析手法や情報提供、利用状況に関する課題などがあり、有効に活用されていないのが現状である。特に衛星リモートセンシング技術を用いた浸水被害の抽出に関する既往研究にはいくつかの課題点がある。①NDWI (Normalized Difference Water Index) 値は浸水被害での活用範囲が明確ではない、②住宅密集地は浸水面として抽出が困難である、③準リアルタイム中分解能衛星画像の適用性が明確ではない、④衛星画像のみの解析による抽出手法が多いなどが挙げられる。本研究では既往の課題を解決する手段として新たに①新たな指標の提案、②地理空間情報を併用した改善手法の提案、③浸水建物の抽出手法の提案、④高分解能衛星画像と空間情報を併用した時系列データセットの構築を提案し、それぞれの手法について評価するとともに災害対応での有用性について検討を行った。本論文では災害対応において重要な役割を担う災害初期の情報収集と適切かつ継続的な復旧・復興モニタリングについて、衛星画像と地理空間情報を併用した解析手法を検討し、各災害対応フェーズにおける有用性について把握することを目的とした。本論文は第1章「序論」、第2章「災害直後フェーズにおける衛星画像を用いた浸水域の抽出」、第3章「復旧・復興フェーズにおける衛星画像を用いた津波被害域の調査」、第4章「結論および展望」の4章構成である。

第1章「序論」では、研究の背景として衛星リモートセンシング技術の災害対応での必要性、有用性を整理した。また、近年の衛星画像の災害対応への利用および空間情報の多様性について現状と課題を整理し、本研究の目的を説明した。

第2章「災害直後フェーズにおける衛星画像を用いた浸水域の抽出」では、災害直後フェーズにおける浸水域の抽出手法を検討するため、異なる特性を持つ光学・SAR衛星画像を使用した。また、観測後にフリーに準リアルタイムに入手が可能な中分解能衛星画像を使用することにより浸水災害の抽出手法をより体系的に検討した。なお、国土地理院による空中写真の目視判読結果と比較することにより、抽出率（目視判読結果の内、衛星解析による浸水被害域の割合）と正答率（衛星解析による浸水被害域の内、目視判読結果の割合）を算出することにより抽出手法を評価した。最初に、光学衛星画像による浸水域の抽出手法の検討を行った。浸水面の反射特性から可視光域について他の土地被覆と分類可能性が示された。そのため、可視光域のバンド画像により算出され、砂漠化の指標として用いられるGSI (Grain Size Index) 値を適用した。災害後に観測された光学衛星画像に適用したNDWI値と比較し、既存水域と浸水域が分類可能であったことからGSI値による浸水域の抽出の有効性が認められた。主な誤抽出個所として①住宅密集地、②グラウンド、③ため池、④目視判読結果に用いた空中写真の撮影時間と衛星の観測時間による差による個所であった。誤抽出個所の改善のため①DEM (Digital Elevation Model) データおよび空間処理による改善手法の提案、②街区ポリゴンを用いた改善手法の提案の2通りの改善手法を検討した。光学衛星画像の浸水域の抽出結果に対し、DEMを用いた山城の除外、浸水域に囲まれる非浸水域を浸水域として補正する空間処理を施すことで抽出率、正答率の向上が確認できた。また、街区ポリゴンごとに街区ポリゴン内の浸水域と建物の比率を用いた条件式を設定し、浸水域を判定することにより浸水域の抽出率が大幅に向上した。次にSAR衛星画像による浸水域の抽出手法を検討した。浸水を示す水面への変化をとらえるため、振幅情報から変換

した災害前後の後方散乱係数の差から閾値を設定することで抽出を行った。主な誤抽出箇所として①住宅密集地、②ノイズに起因する箇所であった。誤抽出箇所の改善のため①DEM データおよび空間処理による改善手法の提案、②コヒーレンス値（干渉度）を用いた改善手法の提案の2通りの改善手法を検討した。SAR衛星画像の浸水域の抽出結果に対し、DEMデータを用いた山城や河川ポリゴンによる河川域の除外、浸水域に囲まれる非浸水域を浸水域として補正する空間処理を施すことで抽出率、正答率の向上が確認できた。また、建物ポリゴン内のコヒーレンス値の平均値を算出し、建物の浸水有無を判定することで抽出率と正答率の向上を確認した。さらに、災害直後から観測画像がフリーに入手可能な中分解能衛星画像を用いた津波被害域の抽出手法を検討した。中分解能光学衛星であるLandsat-8衛星画像を用いてスペクトラル補正および雲補正を施した後、NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) 値の差分から津波被害域を抽出した。誤抽出箇所が見られたものの海岸線沿いに抽出できていることから大凡の被害域の分布は把握することが可能であることが示された。また、Cバンドの波長特性を有し、中分解能SAR衛星であるSentinel-1衛星画像を用いて津波被害域の抽出のための検討を行った。強度画像にコヒーレンス画像を加えたMTC (Multi Temporal Coherence) 画像を用いた判読特性を評価した結果、津波被害による後方散乱係数の低下およびコヒーレンス値の低い領域が示される傾向にあったものの明瞭に把握することは困難であった。一方で、津波により森林が大規模に流出した領域は判読が可能であった。

以上より、災害直後フェーズでの浸水災害域の抽出に対し、光学衛星画像およびSAR衛星画像と地理空間情報を併用した提案手法を適用した結果、従来手法と比較し、抽出精度の向上が確認された。また、観測後に準リアルタイムにフリーに入手可能な中分解能光学・SAR衛星画像による津波被害域の抽出手法が検討され、災害直後の概要調査としての有効性を示すことができた。

第3章「復旧・復興フェーズにおける衛星画像を用いた津波被害域の調査」では、復旧・復興フェーズにおける衛星画像を用いた津波被害域の調査手法について検討した。衛星画像による復旧・復興フェーズによる衛星画像の利用は十分には確立されていない。一方で、復旧・復興の状況を継続的に把握し、タイムリーな施策を実施する必要があることが政府および内閣府等から報告されている。そのため、詳細に把握が可能な高分解能衛星画像と地理空間情報による時系列データセットを構築することにより、復旧・復興状況の把握手法の検討を目的とした。東日本大震災の災害前後の5時期の高分解能衛星画像から得られるパンシャープン画像およびNDVI値から仙台海岸沿岸域の海岸堤防や復興道路および海岸林を対象に復旧・復興状況を把握・抽出した。大規模災害による長期的な復旧過程の中で、特に重要視される初期期間の復旧過程を、高分解能衛星画像による時系列データセットを構築したことで詳細に把握できた。このことで、仙台海岸沿岸域の海岸堤防や周辺インフラの復旧状況と植生環境変化の過程が時系列なパンシャープン画像の判読処理から把握できた。また、高い空間分解能で面的に得られた地表の分光特性を画像処理することにより、応急復旧および本復旧工事による地表環境の変化状況や、残存海岸林および周辺植生の面的な変化過程とNDVI値を用いた植生の健全度の統計的分布の観点から効果的に示された。また、植樹支援に伴う地表環境の状況もNDVI値の分布特性から考察する可能性を示唆することができた。このことは植樹および植生の生長等に伴う海岸林の健全度を把握する効果的な手法として考察された。

以上の検討結果より、災害直後および災害後の復旧状況の把握に時系列な高分解能衛星画像データセットを構築することにより、復旧過程の特徴把握や進捗状況の長期的且つ継続的な変化過程のモニタリングに有効に活用されることが示唆されたと考えられる。

第4章「結論および展望」では、本研究の成果および今後の展望を整理した。本研究では、衛星画像による浸水災害における浸水域の抽出についての課題に対し、地理空間情報を併用した改善手法を提案することで高精度な抽出手法の提案を行い、災害対応における有用性を実証した。さらにその適用範囲を把握することにより、社会実装のための実災害時の緊急を要する災害直後の初期的な概要調査としての有用性が示された。このことは、災害対応を担う政府および地方自治体における災害時の立案および意思決定について寄与するものと考えられる。また、高分解能衛星画像と地理空間情報を併用した時系列データセットを構築することで復旧・復興フェーズで復旧・復興事業の適切な進捗把握について効果的な利用の可能性が示されたと考えられる。

今後の展望として、多様な小型衛星が継続して打ち上げ予定であることから災害時のタイムリーな

観測が可能となり，さらなる衛星画像の災害時の利活用が期待される．さらに，被災地の自治体では被災状況の概略調査における衛星画像解析をアウトソーシングすることにより，災害対応を担う職員の負担を軽減することが可能となり，衛星画像による被害概要の把握が防災・減災の取り組みの一旦を担うことが期待される．加えて，時系列データセットを構築することで災害のみならず多方面・他分野に利用・活用することが可能であると考えられる．