

論文審査の結果の要旨

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

審査委員：（主査） 教授 羽 柴 秀 樹

（副査） 教授 大 沢 昌 玄 生産工学部教授 杉 村 俊 郎

近年多発傾向にある自然災害の中でも、河川の氾濫や津波による浸水災害では多くの被害が発生する。このような浸水災害時には、自治体を中心にその直後から災害情報の調査が必要になる。また、復旧・復興過程を長期的に調査することも求められている。災害時には航空機、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等の調査に対する課題も多い。これに対して人工衛星による衛星リモートセンシングでは広域かつ周期的な観測が可能であり、災害時の状況把握および復旧・復興状況の把握に効果的である。また、衛星リモートセンシングには光学式センサとSAR(Synthetic Aperture Radar)センサの異なる性質のセンシング方法があり、併せて近年では多くの地理空間情報も利用できる環境にある。しかしながら、解析上改善すべき課題も多く、主に自治体レベルでの円滑な利用・活用には至っていないのが現状である。加えて、復旧・復興時での衛星画像の利用は十分には確立されていない。

申請者の論文では、これらの課題点を改善するために、異なる特性を有する種々の衛星画像と多様な地理空間情報を用いた、河川氾濫および津波による浸水災害を対象とした、災害直後および復旧・復興にかけての各災害対応フェーズの災害情報抽出手法を体系的に検討し、浸水災害域の調査のために解析手法の提案とその有用性について把握することを目的としている。

まず災害直後フェーズでは、平成27年9月関東・東北豪雨および平成30年7月豪雨での浸水災害を対象に、また津波による浸水災害として平成30年12月アナク・クラカタウ火山の山体崩壊による津波災害を対象に、光学衛星、SAR衛星および準リアルタイム衛星画像での浸水災害域の調査手法および精度向上手法が検討された。

また、復旧・復興フェーズにおいては東日本大震災での津波災害からの復旧・復興を対象に、高分解能な光学衛星画像データに地理空間情報を加えた時系列データセットが構築され、これにより復旧・復興状況が調査・評価された。

以上から、各手法の有用性と調査精度の向上が体系的に検証され、各災害対応フェーズでの利用可能性が示されている。

本論文は全4章で構成されている。

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、有用性が明確化されている。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既存研究を含め整理し、本研究の目的が良好に整理されている。

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衛星画像の使用について検討が加えられている。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がより体系的に検討されている。

光学衛星画像による浸水域の抽出手法の検討では、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)値の浸水災害調査への新たな適用が検討され、従来の水指標値による検討結果と比較し、GSI値による浸水域抽出の有効性が示されている。

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通りの改善手法が検討され, 抽出率, 正答率の向上が確認されている。また, 街区ポリゴン毎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の大幅な向上が示されている。

次に SAR 衛星画像による浸水域の抽出手法の検討では, 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が検討され, 主な誤抽出個所としては①住宅密集地, ②ノイズに起因する箇所であることが検証されている。誤抽出個所の改善のため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通りの改善手法が新たに検討された。検討の結果, 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, 正答率の向上が示されている。また, 建物ポリゴン内のコヒーレンス値を利用し建物の浸水有無を判定することで抽出率と正答率が向上することが示されている。

さらに, 準リアルタイムで処理ができる中分解能光学衛星の中で光学衛星の Landsat-8 衛星画像を用いて NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) 値の被災前後での差分処理から津波被害域を抽出する検討が行われた。その結果, 誤抽出個所が見られたものの大凡の被害域の形状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する中分解能 SAR 衛星である Sentinel-1 衛星画像情報から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, 津波により森林が大規模に流出した領域は判読が可能であることが示唆されている。

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, 種々の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, 調査に対する有用性がより向上し, さらに抽出精度が向上することが示されている。

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が検討されている。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が検討された。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・抽出することが示された。また, 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ることが示されている。また, 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評価できることが示された。

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ている。

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が明確化されている。加えて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まとめられている。また, 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点や, さらに, 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寄与し, また被災地の自治体では被災状況の概略調査における災害対応を担う職員の負担を軽減することが可能となる面など, 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ことが示されている。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ことが示唆されている。

以上のように, 従来の河川氾濫および津波による浸水災害域の調査に衛星画像を利用する場合, 光学衛星または SAR 衛星による各手法のみでの検討がほとんどであったが, 申請者の論文では異種衛星画像

を総合的に利用し浸水災害域の調査手法の提案を体系的に行う点について独創性が認められる。また、被災後に観測された光学衛星画像のみを使用し、主に砂漠化の評価を行うための画像演算による指標値を浸水災害域抽出へ適用した手法はこれまでにない新たな試みであり、従来から使用されている手法と比べより高精度な抽出結果が示されている。また、これまで抽出が困難であった住宅密集地での浸水域について、地理空間情報解析を導入し抽出精度を改善するための手法を開発した点にも独創的な点が認められる。加えて、住宅密集地での浸水域の抽出や津波浸水災害域の抽出に対して SAR 衛星観測の位相情報によるコヒーレンス画像を利用した手法を適用した点も独創性が高いと判断される。また、復旧・復興支援のための衛星画像と空間情報を融合したデータベース構築についてこれまでにない工夫と新規性が認められる。これらの新規性、独創性が博士（工学）の学位申請に値する独創的研究として評価した点である。

以上から申請者の論文は、河川氾濫および津波による浸水災害時の災害調査・災害評価および復旧・復興支援に対して、大きく貢献するものである。

このことは、本論文の提出者が自立して研究活動を行い、又はその他の高度な専門的業務に従事するに必要な能力及びその基礎となる豊かな学識を有していることを示すものである。

よって本論文は、博士（工学）の学位を授与されるに値するものと認められる。

以 上

令和2年2月20日