

# 合成開口レーダと光学センサの統合解析による 津波浸水域抽出手法の開発

都市環境学専攻 支倉一磨

## Developing a new method to detect tsunami inundation area by integrating optical satellite image and SAR data

Civil and Environmental Engineering Kazuma HASEKURA

**Key Words :** the 2011 Great East Japan Earthquake, synthetic aperture radar, optical image

### 1. 序論

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震津波では、北海道から千葉県にいたる太平洋沿岸部に津波が浸水し、その面積は約561km<sup>2</sup>に及んだ<sup>1)</sup>。このような広域に及ぶ津波浸水域を被災後早期に把握するためには、リモートセンシング技術が有効である。

特に合成開口レーダー（Synthetic Aperture Radar : SAR）は、水域においてマイクロ波が鏡面反射することにより、他の地域に比べ低い後方散乱係数を示す。この特性を生かし、SAR強度画像から洪水や津波浸水域を抽出する手法が数多く提案されてきた。例えば、リュウら（2012）は、被災前後のSAR強度画像から差分処理による津波浸水域抽出手法を開発した<sup>2)</sup>。また、郷右近ら（2014）は、被災後に撮影されたSAR強度画像を使用し、閾値処理による津波浸水ラインの半自動抽出ツールを開発した<sup>3)</sup>。

これらの既往研究により、SAR強度画像による浸水域の抽出精度は被災地に滞留する水の有無に依存することがわかった。すなわち、冠水域は高精度で抽出できるが、観測時に水が引いてしまった地域においては抽出が困難であること。また、建物が存在する地域では、床上床下浸水のように比較的軽度な建物被害では抽出

が困難なことである。これらの既往研究により、SAR強度画像のみによる解析からは、浸水域を全て網羅することは難しいことがわかった。そこで本研究では、SAR強度画像と光学画像を組み合わせることにより、これらの地域における浸水域を高精度に抽出する手法を開発することを目的とする。

### 2. 津波浸水域抽出手法の概要

#### (1) 使用データと前処理

本研究では、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震津波によって甚大な被害を受けた宮城県仙台市の沿岸部を対象とする（図-1 (A), (B)）。対象地域は主に田畑と建物から構成されている。

使用するデータは、2011年3月11日（UTC）に撮影された空間分解能0.5mの光学衛星画像（WorldView-II）と、2011年3月12日（UTC）に撮影された空間分解能1.25mの高分解能SAR画像（TerraSAR-X）である（図-1 (C), (D)）。各画像には共一次内挿法による平滑化処理を施した。また同時に、SAR画像は光学画像と同じ0.5m分解能にリサンプリングした。その後、株式会社ゼンリンの建物輪郭データ<sup>4)</sup>を使用し、対象地域を田畑地域と建物地域に分割した。

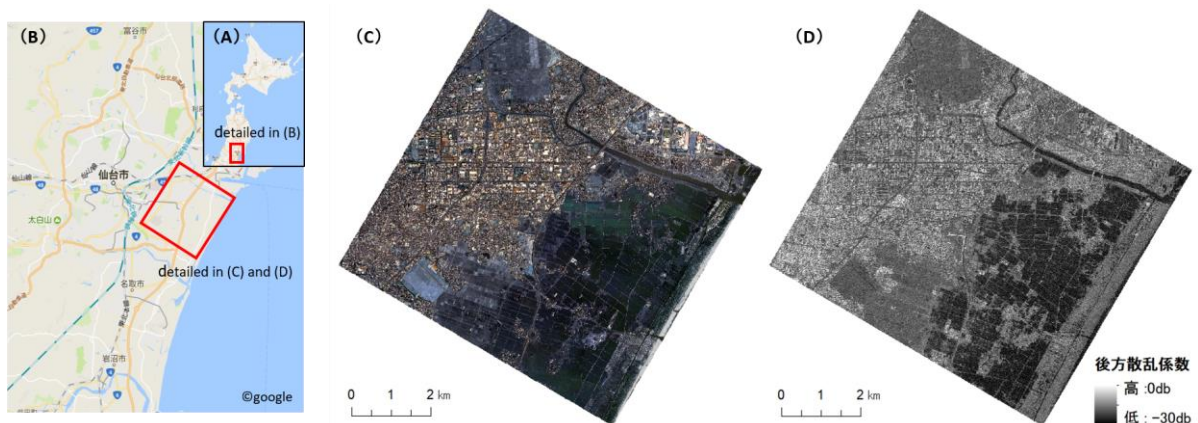


図-1 (A), (B) 解析対象領域, (C) 対象領域光学画像(World View-II), (D) 対象領域SAR画像(TerraSAR-X)

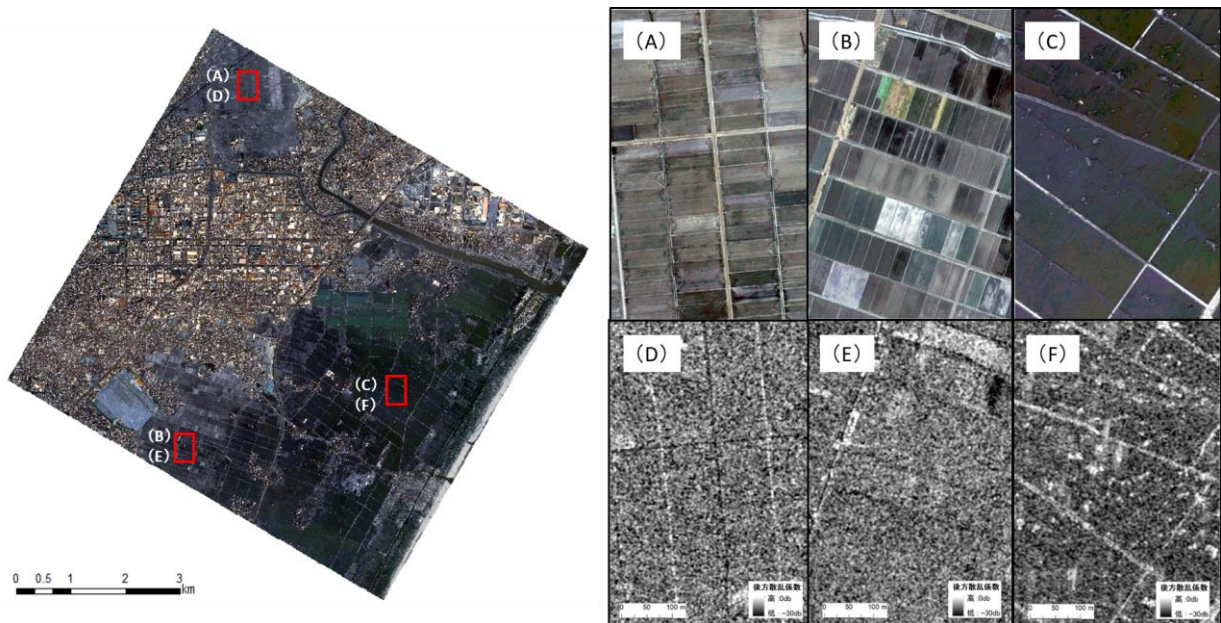


図-2 (A) 浸水域外田畑光学画像、(B) 浸水域内非冠水田畑光学画像、(C) 浸水域内冠水田畑光学画像、(D) 浸水域外田畑SAR画像、(E) 浸水域内非冠水田畑SAR画像、(F) 浸水域内冠水田畑SAR画像

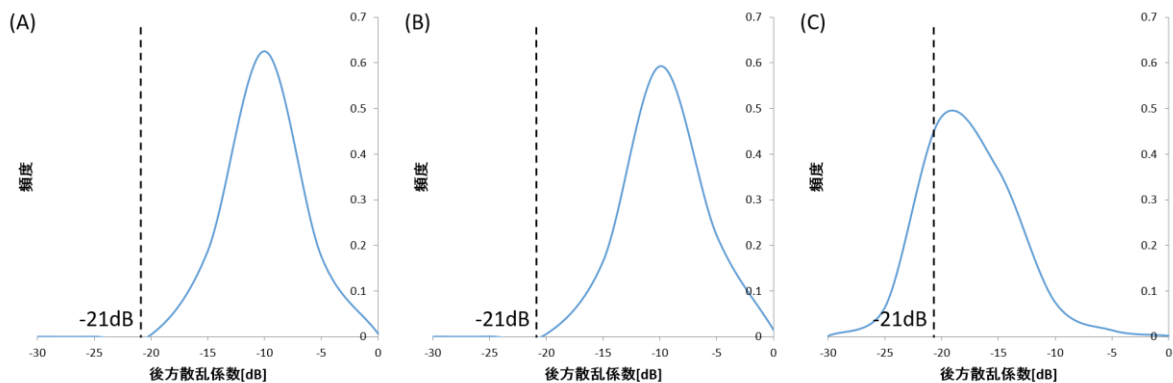


図-3 サンプル地域における後方散乱係数頻度分布：(A) 浸水域外田畑、(B) 浸水域内非冠水田畑、(C) 浸水域内冠水田畑

## (2) 田畑地域浸水抽出手法

まず、田畑地域から浸水抽出基準を作成するためのサンプル地域を選定する。本研究では、浸水域外田畑、浸水域内非冠水田畑、浸水域内冠水田畑の3種類の田畑をサンプル地域として選定した(図-2)。

次にサンプル地域を対象に、SAR画像から浸水域と浸水域外の後方散乱係数の頻度分布を比較する(図-3)。その結果-21dB以下であれば、浸水域のみを抽出可能なことがわかった。そこで、本研究では後方散乱係数が-21dB以上の地域を対象に、光学画像による再判定を行った。

光学画像では、機械学習のアルゴリズムにより、浸水域抽出の新しい分類基準を構築した。説明変数として、R、G、B、NIRの4種類の画素値、独立変数として「浸

水あり」、「浸水なし」の2種類を使用した。学習には、ニュージーランドのワイカト大学が開発した機械学習用フリーソフトWEKA<sup>9</sup>のC4.5アルゴリズムを使用し、最も精度が高くなるように抽出基準を作成した。C4.5はWEKAに実装された決定木作成のためのアルゴリズムである。

最後に、作成された浸水域抽出基準を田畑地域全域に適用する。しかし抽出はピクセル単位で行われるため、細かい誤抽出が多く存在する。そこで平滑化処理を行い、これらの誤抽出を除去する。平滑化処理には、25×25のピクセルウィンドウを使用し、500ピクセル(80%)以上が浸水している場合のみ浸水と判定した。平滑化後、面積が小さい浸水域を除去することで抽出精度を高めた。

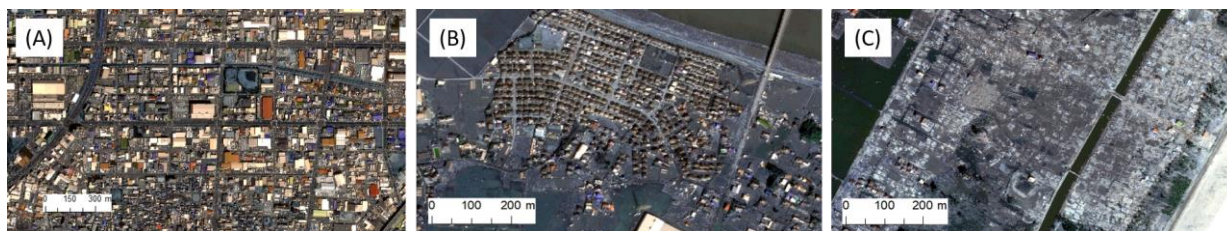


図4 サンプル地域：(A) 浸水域外建物，(B) 浸水域内無被害・中破以下建物，(C) 浸水域内全壊・流失建物

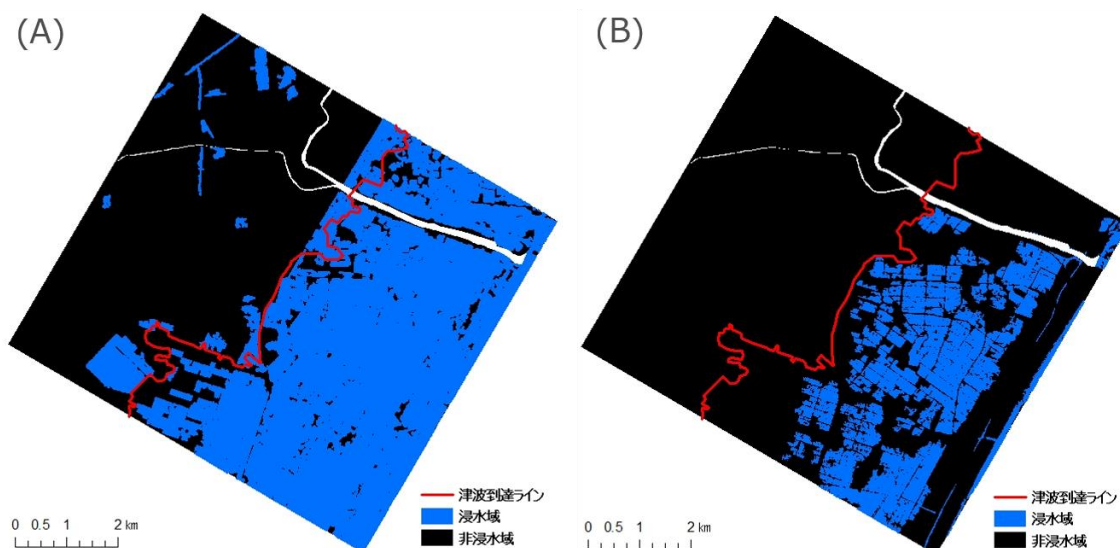


図5 津波浸水域抽出結果：(A) 提案手法，(B) SAR画像の閾値処理のみによる手法

### (3) 建物地域浸水抽出手法

田畑地域と同様に、いくつかのサンプル地域を選定し、画素値の頻度分布を調べた(図-4)。その結果、建物地域では、浸水の有無や被害の程度によって画素値の頻度分布に大きな違いはみられなかった。特に、浸水域内に存在し、比較的被害が軽度な建物においては目視による浸水判読も困難であった。

そこで本研究では、標高、海岸からの距離をパラメータとし、既に抽出を行った田畑地域を対象に浸水抽出基準を作成した。まず、田畑地域に50 m間隔でポイントデータを作成し、次に海岸線に沿ってラインデータを作成した。そして、ポイントデータの位置における標高とラインデータまでの最短距離を計算し、これらの説明変数に関する情報と、独立変数に関する浸水の有無の情報を一つのテーブルデータ上に整理した。

標高データは、経済産業省と米国航空宇宙局が共同整備した30m分解能のASTER全球3次元地形データを使用した。使用の際には、分解能を10 mにリサンプリングし、共一次内挿法による平滑化を行った。

作成したテーブルデータを学習データとして、WEKAによる機械学習を行い、浸水抽出基準を作成した。その結果、海岸からの距離が約3,900 m以内であれば浸水している傾向が強いことが分かった。対象地域は仙台平野に位置し、高低差がそれほど大きくないため、標高値は説明変数には組み込まれなかったと考えられる。

そして、得られた結果を建物地域全域に適用し、浸水域の抽出を行った。

### (4) SAR画像の閾値処理手法との比較

今回、本手法の効果を検証するため、SAR画像単体で抽出を行った場合との比較を行った。SAR画像単体で抽出する際には、郷右近ら(2014)を参考に-17 dBを閾値として、それ以下の後方散乱係数を持つ画素を、浸水域として抽出した。そして25×25のピクセルウィンドウを使用し、大多数フィルタによる平滑化を行った。最後に浸水面積が小さいものを誤抽出部分とし、除去した。

### 3. 抽出結果と考察

田畑地域、建物地域における抽出結果を統合し、対象地域における浸水域を抽出した。得られた結果を図-5に示す。そして、国土地理院が公開している実際の浸水域と比較し、面積ベースで抽出精度を算出した。抽出精度には、抽出した浸水域のうち正しく抽出できた割合を示すユーザー精度(U.A.)と実際の浸水域のうち抽出できた割合を示すプロデューサー精度(P.A.)を算出した。

提案手法における抽出精度は、田畑地域において90.8 % (U.A.), 80.0 % (P.A.), 建物地域において86.8 % (U.A.), 97.5 % (P.A.), 対象地域全域において88.9 % (U.A.), 86.9 % (P.A.)であった。田畑地域では、浸水域内の土壌が完全に乾いた田畑や植生地域において抽出が出来ず、P.A.が低下したと考えられる。一方で、建物地域では実際の浸水域よりも内陸側を浸水条件としたため、U.A.と比べ、P.A.が高くなったと考えられる。

またSAR画像の閾値処理における抽出精度は、田畑地域において100.0 % (U.A.), 43.1% (P.A.), 建物地域において100.0 % (U.A.), 2.2 % (P.A.), 対象地域全域において100.0% (U.A.), 34.9% (P.A.)であった。U.A.に比べ、P.A.が低い場合、被害を過小評価する傾向が強いといえる。既往手法では、冠水域は高精度に抽出できるが、建物や既に水が引いてしまった部分に関しては全く抽出できていない。そのため、提案手法に比べ、U.A.は高く、P.A.は著しく低くなったと考えられる。

一方で提案手法では、SAR画像の閾値処理では抽出できなかった地域において、抽出精度の向上が確認できた。特に建物地域では、田畑における浸水抽出結果から津波がどこまで到達したかを高精度に把握することができた。しかし、田畑地域では、浸水域外において誤抽出が目立った。これは光学画像を使用することにより、ビニールハウスや自衛隊の飛行場などサンプルとして取得した田畑とは異なる画素値を示す地域において抽出ができなかったためと考えられる(図-6)。本研究では、建物輪郭データを使用し対象地域の分割を行ったが、土地の利用分類に応じてより詳細な分割を行うことで、これらの誤抽出は減らすことができると考えられる。

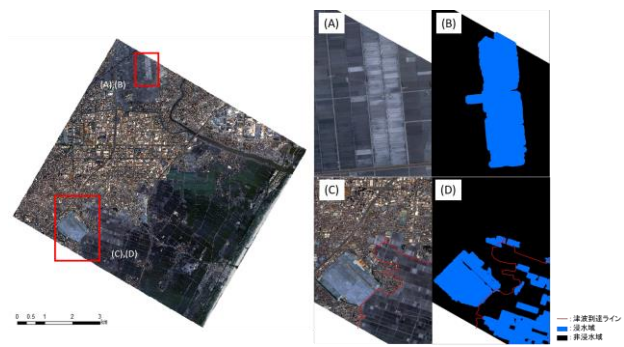


図-6 (A) ビニールハウス光学画像、(B) 浸水判定結果、(C) 陸上自衛隊航空基地光学画像、(D) 浸水判定結果

### 4. 結論

本研究により得られた結論を以下にまとめる。

(1) 光学画像を用いることで、課題とされてきた観測時に水が引いてしまった地域において、浸水域を良好に抽出することができた。(2) 田畑地域における抽出結果から津波の到達域を推定し、建物地域における浸水域を高精度に抽出することができた。(3) 本手法を対象領域全域に適用することで、U.A. 88.9 % , P.A. 86.9 % の精度で浸水域を抽出できた。また、対象地域を土地利用分類に応じて分割することで、より高精度な解析が可能であると考えられる。

### 参考文献

- 1) 国土地理院：津波による浸水範囲の面積（概略値）について（第5報），2011。
- 2) リュウ・ウェン，山崎文雄，郷右近英臣，越村俊一：高解像度 SAR 画像を用いた東北地方太平洋沖地震における津波浸水域と建物被害の抽出，日本地震工学会論文集第 12 巻第 6 号（特集号），pp.73-85，2012。
- 3) 郷右近英臣，越村俊一，松岡昌志：合成開口レーダー画像による津波浸水ラインの半自動抽出ツールの開発，土木学会論文集 B2（海岸工学）第 70 巻第 2 号（海岸工学），pp.1486-1490，2014。
- 4) 株式会社ゼンリン：住宅地図データベース（Zmap-TOWNII）（オンライン），（平成 23 年 4 月 1 日参照）  
<http://www.zenrin.co.jp/product/gis/zmap/zmaptown.html>
- 5) Hall,M., E.Frank, G.Holmes, B.Pfahringner, P.Reute-mann, Ian H.Witten : The WEKA data min-ing software:An Update;ACM SIGKDD Explorations Newsletter, Vol.11, Issue1, pp.10-18, 2009。