

(44) SAR データと氾濫解析による水害浸水域の抽出

青山 定敬¹・内田 裕貴¹・一言 正之²・松本 定一³・伊東 明彦⁴

¹正会員 日本大学 生産工学部土木工学科 (〒257-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1)

E-mail:aoyama.sadayoshi@nihon-u.ac.jp, uchida.yuuki@nihon-u.ac.jp

²正会員 日本工営株式会社 中央研究所 (〒300-1259 茨城県つくば市稲荷原 2304)

E-mail:hitokoto-ms@n-koei.jp

³非会員 日本工営株式会社 名古屋支店 (〒461-0005 愛知県名古屋市東区東桜 2-17-14)

E-mail:a5958@n-koei.co.jp

⁴正会員 宇宙技術開発株式会社 (〒164-0001 東京都中野区中野 5-62-1)

E-mail:itou.akihiro@sed.co.jp

平成 26 年 5 月 24 日に打ち上げられた ALOS-2 は、天候に左右されずに日本上空を昼夜 2 回観測する災害の被災状況の監視に利用が期待されている。SAR データから得られる後方散乱係数画像を使った水害浸水域の抽出については、既に実用化に向けた検討が行われている。しかしながら、都市部や森林部では地表面を直接観測できる場所が少なく、SAR データだけでは浸水域を判読することは難しい。一方で、洪水氾濫域を推定する方法として氾濫解析が行われている。

本研究は、SAR データと氾濫解析を使った新たな水害浸水域の抽出手法を提案し、実災害を対象に提案手法を適用し、その有効性について検討を行ったものである。この結果、SAR データだけでは判読が困難な都市部等での浸水域抽出への適用が可能であることが示された。

Key Words: ALOS-2, SAR, backscattering coefficient, flood analysis, flooded area

1. はじめに

近年、我が国は水害による浸水被害が多発している。平成 28 年には台風により東北地方や北海道において洪水及び土砂災害をもたらした。また、平成 27 年関東・東北豪雨においては、鬼怒川が決壊し茨城県常総市において大規模な水害被害が発生した。さらに平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災では、東北沖の地震によって津波が発生し、東北地方を中心とする沿岸域に浸水被害をもたらした。

水害の初動対応において水害浸水域を把握することは、ポンプ車の配備計画や道路の通行の可否を知るうえで重要な情報である。浸水域の把握には、昼夜問わず雨天時においても広範囲を観測できる人工衛星搭載の合成開口レーダ (SAR) データから得られる後方散乱係数画像が有効である¹⁾²⁾。

平成 27 年の北海道及び東北の水害発生時において国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構は国土交通省の要請により、ALOS-2 衛星の PALSAR-2 センサによって緊急観測を実施し、観測約 2 時間後には浸水域を示す災害速報図を防災関係機関へ配信している³⁾。災害速報図で

は、浸水域における後方散乱係数が浸水前と比べて低下することを利用し、被災前後の観測データを使って浸水域を抽出している。

しかしながら、ビル群の多い都市部においては、斜め観測の SAR データでは、ビル群の影響により地表面を直接観測できる場所は少ないため、浸水域を面的に特定することは困難である。このように SAR データでは浸水域を特定できない場合がある。

一方、浸水域を把握する方法として、氾濫の状態を再現する洪水氾濫シミュレーションモデルを使った氾濫解析による方法がある⁴⁾。氾濫解析では、地形情報に対して破堤・越水箇所、破堤・越水幅、そして破堤・越水地点での水位を指定することで、時系列で堤内地の氾濫域を求めることができる。しかし、氾濫解析においてリアルタイムで正確に氾濫域を求めるには、河道内の洪水波形を正確に再現しなければならないという課題がある。

本研究は、速報的に浸水域を把握することを目的とし、衛星 SAR データだけでは判読が困難な地域の浸水域の抽出について、SAR データと氾濫解析を組み合わせた新たな浸水域抽出手法について提案し、実際の水害を対象にその適用について検討を行ったものである。

2. 研究対象地域

研究対象地域は、平成 27 年 9 月関東・東北豪雨によって浸水被害が発生した鬼怒川下流の常総市である。9 月 10 日 6 時過ぎには常総市若宮戸において越水による浸水被害が、13 時頃には常総市三坂町にて破堤による浸水被害が生じた。国土交通省の災害情報 9)によると、常総市における浸水面積は 40km² で床上浸水が約 4400 戸、床下浸水が約 6600 戸と報告している。また、国土地理院が空中写真判読によって作成した常総地区の推定浸水範囲は、9 月 11 日 13 時時点は約 31km²、9 月 13 日 10 時 40 分時点は約 15km² という結果を示している。

当該地域は洪水による浸水面積として大規模であり、浸水時において衛星 SAR データによる緊急観測が行われたため、研究対象地域として選定した。

3. 使用した SAR データ

浸水箇所の判読に使用した SAR データは、ALOS-2 衛星搭載の PALSAR-2 センサ観測のデータである。観測日時及び観測条件は、浸水被害発生後の日本時間平成 27 年 9 月 11 日 22 時 56 分観測の高分解能 HH 偏波データの左側観測で、処理レベル 1.5、軌道はアセンディングでオフナディア角は 35.0 度、地上分解能は 2.5m ある。また、浸水前のデータとして、浸水後と同じ観測条件で平成 27 年 7 月 31 日 22 時 56 分観測のものを使用した。

各データは、前処理として観測データを後方散乱係数に変換し、浸水前画像を浸水後画像の位置座標に一致させるよう幾何補正処理を行った。なお、本稿では、浸水前の後方散乱係数画像を「浸水前データ」、浸水後の後方散乱係数画像を「浸水後データ」と称する。

4. SAR データによる浸水箇所と氾濫解析を使った浸水域の抽出方法

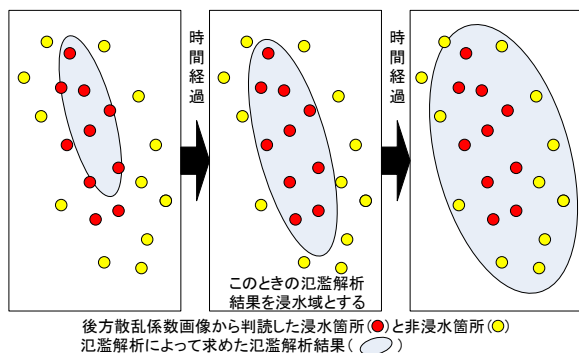


図-1 浸水箇所と氾濫解析を組み合わせた浸水域抽出方法の概念図

図-1 は、後方散乱係数画像から得られる浸水箇所と氾濫解析結果を組み合わせた浸水域の抽出方法の概念図を示したものである。浸水域の抽出方法は、SAR データから得られる後方散乱係数画像から浸水の有無を示す浸水箇所を判読し、氾濫解析を行って、この浸水箇所を包絡するような氾濫解析結果を浸水域とするものである。

従来は、衛星 SAR データのみで浸水域を面的に把握するのに対し、本提案手法は、衛星 SAR データから浸水箇所を点データとして把握し、これを氾濫解析の同定データとして使用する。

5. 浸水後データによる浸水域の抽出

水域の後方散乱係数は他の地物に比べて低い値を示す。このため、水域と同じ後方散乱係数の値を示すところを浸水域と判定する。実際の鬼怒川水面の後方散乱係数の上限は約-14dB であったため、これ以下を浸水域とした。

図-2 は、浸水域の抽出結果のうち、三坂新田町周辺を示したものである。図では、南北に延びる国道 294 号の常総バイパスとその東側の送電線ならびに南北に流れる八間堀川の堤防は浸水していないと判読された。国土地理院が 9 月 11 日午後撮影した空中写真で確認すると、常総バイパス及び八間堀川の堤防は水没していないことが判った。しかし、送電線下は水没していることが判明した。これらはいずれも東西方向に照射されたレーダが、南北方向に延びる道路や堤防、そして送電線に反射したため、後方散乱係数が高い値を示したものと考えられる。

一方、三坂新田町の住宅地は、空中写真では浸水していたが、浸水後データでは建物周辺が-10dB 以上であるため、浸水していないものと誤判読された。

以上の結果より、浸水後データのみによる浸水域の判読は、構造物の無い地域では概ね合っているが、南北に延びる送電線や住宅地等では、誤判読が見られた。

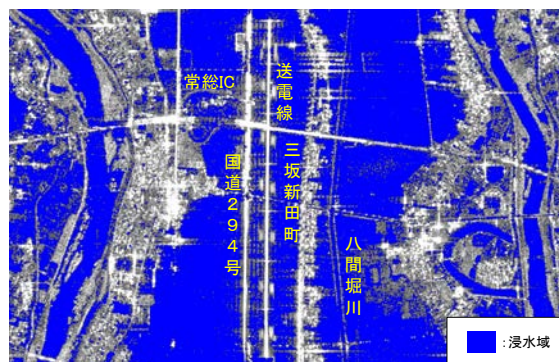


図-2 浸水後データによる三坂新田町周辺の浸水域抽出結果

6. 浸水箇所と氾濫解析による水害浸水域の抽出

(1) 電信柱を使った浸水箇所の判読

浸水域の後方散乱係数画像を見ると、画像内に数多くの点群が表示されていることが判る。しかし、浸水前データには、この点群はほとんど見られない。この点群について調べた結果、電柱、街灯、道路標識等の柱状構造物であることが判明した。これらは都市部にも点在するため、本研究では、電信柱の後方散乱係数の特徴を使った浸水箇所の判読について試みた。

浸水した電信柱の浸水前後の後方散乱係数の特徴を把握するため、浸水した電信柱の位置を示す浸水電信柱マップを作成した。浸水電信柱マップは、国土地理院が9月11日に撮影した空中写真を見て、明らかに浸水している地域の電信柱の経緯度をグーグル・マップの空中写真を使って求め、これを後方散乱係数画像の座標に変換して作成した。また、電信柱の浸水箇所画像を作成するため、浸水の有無に関わらず対象地域内の電信柱の位置を示す電信柱マップも作成した。

電信柱の後方散乱係数は、電信柱を中心とする3×3ピクセルのうち、最大値を採用した。また、電信柱周辺の後方散乱係数の特徴を把握するため、電信柱を中心とする5×5ピクセルの最小値について調べた。

浸水した電信柱214本における浸水前後の後方散乱係数を調べた結果、浸水前より浸水後に上昇した電信柱は78.5%であった。これは、2回散乱の影響が考えられる。

図-3は、浸水した電信柱周辺の浸水前後の後方散乱係数の最小値を示す。ここで、-14dB以下は192本で全体の89.7%であり、浸水後の電信柱周辺の後方散乱係数の最小値は、浸水判定に利用できるといえる。

上記の2つの指標を組み合わせ、電信柱の後方散乱係数が浸水後に上昇し、かつ周辺の後方散乱係数が-14dB以下の条件に該当する電信柱は69.6%であった。

本研究では、電信柱の浸水判定条件として浸水後に後方散乱係数が上昇し、かつ浸水後は周辺の後方散乱係数の最小値が-14dB以下の場合を採用した。この条件で電

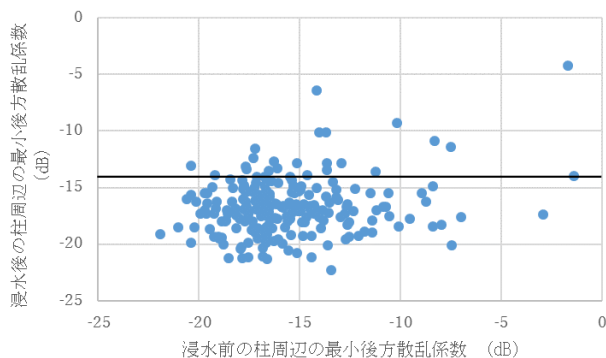


図-3 浸水前後の電信柱の最小後方散乱係数

信柱の浸水箇所を判読した画像を図-4に示す。ここで、赤色が浸水有、黄色が浸水無の電信柱を示す。また、画像の青色箇所は、図-2で作成した浸水域抽出画像を重ね合わせたものである。これより、概ね浸水域抽出画像と電信柱の浸水箇所は一致しているが、首都圏中央連絡自動車道付近の三坂新田町の南北に配置された電信柱は浸水無と誤判読であった。これはレーダの照射方向が西側方向であったため、電信柱の東側に位置する建物の影響を受けたものと考えられる。

浸水箇所の判読に電信柱を使用する場合は、建物の後方散乱係数の影響を受けない電信柱を選定する必要がある。また、電信柱が浸水していると判読された場所は、実際の浸水域と概ね一致した結果になった。このため、氾濫解析の適用にあたっては、浸水箇所と判読された電信柱に着目して浸水域を抽出することが望ましい。

(2) 氾濫解析方法

氾濫解析に用いる方法は、氾濫水の波の動きまで表現するDynamic Wave法を適用した。

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uM) + \frac{\partial}{\partial y}(vM) + gh \frac{\partial H}{\partial x} = -gh \frac{n^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{R^{4/3}} \quad (1)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uN) + \frac{\partial}{\partial y}(vN) + gh \frac{\partial H}{\partial y} = -gh \frac{n^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{R^{4/3}} \quad (2)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

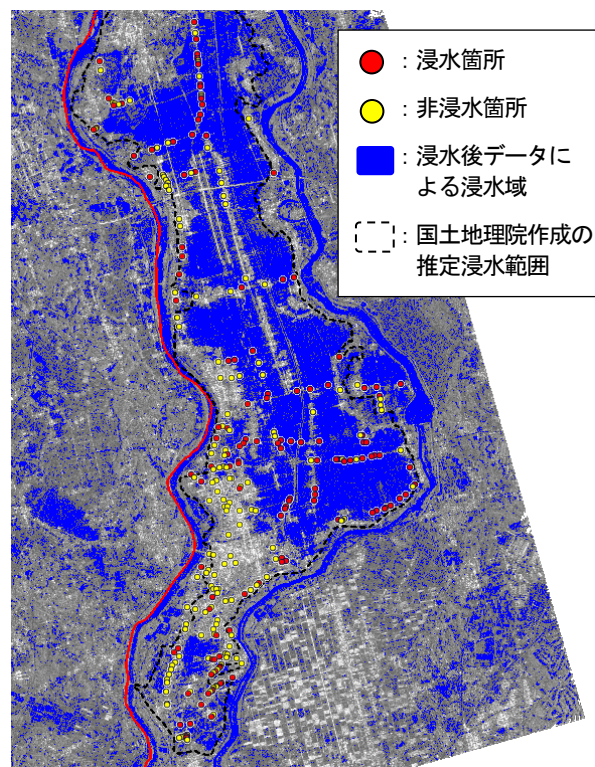


図-4 電信柱を使った浸水箇所判読結果

表-1 氾濫解析における越水及び破堤条件

区分	項目	設定値
越水	水位	TP21.16m
	越水時の残存堤防高	20.46m
	越流幅	200m
	継続時間	4hr
破堤	水位	TP20.0m
	越水時の残存堤防高	17.0m
	越流幅	200m
	継続時間	4hr

ここで、 u は x 方向の流速、 v は y 方向の流速、 h は水深、 H は基準面からの水位、 R は径深、 $M=uh$ は x 方向の単位幅流量、 $N=vh$ は y 方向の単位幅流量、 g は重力加速度、 n はマンニングの粗度係数である。

解析には 50m メッシュを用いた。標高データには国土地理院の基盤地図情報（5m、10m メッシュ）を、土地利用には国土地理院の国土数値情報（100m メッシュ）を用い、それぞれ、解析メッシュ重心に対して最近隣内挿法で与えた。

氾濫解析の時間刻み幅は 0.01 秒、粗度係数は小谷らの値⁹⁾を使い土地利用分類ごとに設定した。また、越水及び破堤条件は、表-1 の値を使用した。

(3) 浸水箇所判読結果と氾濫解析による浸水域の抽出

図-5 は、浸水箇所判読結果と氾濫解析から求められた水害浸水域と、電信柱の浸水箇所を重ね合わせたものである。浸水後データでは抽出することができなかった住宅地の浸水について、本提案手法では適切に抽出することができた。このことは、これまで衛星 SAR データだけでは判読することが困難であった都市部等において、浸水域抽出方法としての可能性を示したといえる。また、国土地理院作成の推定浸水範囲と比較したところ、浸水域の抽出結果はほぼ一致する結果となった。

なお、本検討では氾濫解析メッシュが 50m と比較的粗いため、微地形に起因する浸水範囲の再現性低下が課題である。

7. おわりに

本研究において示した SAR データと氾濫解析を組み合わせた浸水域抽出方法は、SAR データだけでは判読が困難な都市部等での浸水域抽出への適用が可能であり、来るべき都市部での氾濫への対応技術として有用性が高いといえる。

今後は、より精度の高い浸水箇所判読について検討を行うとともに、詳細な浸水域を抽出するため、解析速度

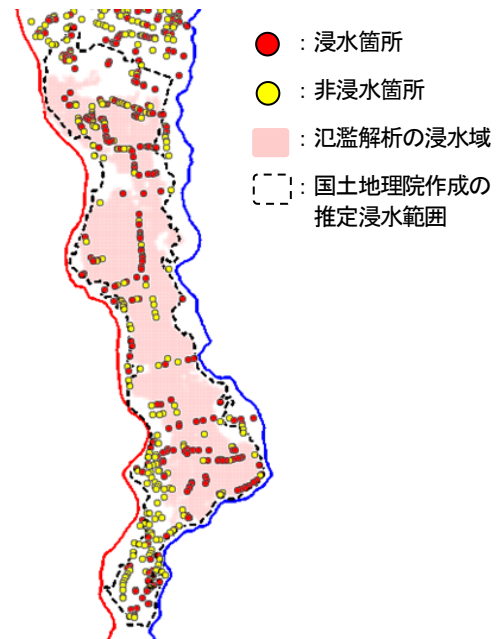


図-5 浸水箇所判読結果と氾濫解析による水害浸水域

を考慮しつつメッシュ間隔が細かい標高データの適用について検討を行うものとする。

謝辞：本研究で使用した ALOS-2 衛星のデータは、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構の水害 WG より提供されたものである。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 郷右近英臣，越村俊一，松岡昌志：合成開口レーダ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），Vol.70，No.2，I_1486-I_1490，2014.
- 2) 加藤圭太，山崎文雄：ALOS/PALSAR 画像を用いた 2008 年岩手・宮城内陸地震による水域の変化抽出，日本地震工学会論文集，第 10 巻，第 3 号，2010.
- 3) 青山定敬，朝香智仁，工藤勝輝，内田裕貴：衛星 SAR データによる津波浸水域判読に関する一考察，土木学会第 67 回年次学術講演会，pp.79-80，2012.
- 4) 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構：だいち 2 号による防災利用実証，三重県鳥羽市タウンミーティング，2016.
- 5) 国土交通省河川局治水課：浸水想定区域図作成マニュアル，平成 17 年 6 月，2005.
- 6) 国土交通省：台風第 18 号及び第 17 号による大雨（平成 27 年 9 月関東・東北豪雨）等に係る被害状況等について（第 28 報），2015.
- 7) 国土地理院：平成 27 年 9 月関東・東北豪雨に係る茨城県常総地区の推定浸水範囲の変化，2015.
- 8) 小谷美佐，今村文彦，首藤伸夫：GIS を利用した津波遡上計算と被害推定法，海岸工学論文集第 45 巻，pp.356-360，1998.