

SAR後方散乱係数による準リアルタイム 浸水域解析

キーワード 浸水域解析, SAR, 防災, 準リアルタイム解析

先端技術研究所 力ピララトナ ジーワンティニ・金田 真一

はじめに

我が国は、国土の約7割を山地・丘陵地が占めており、世界的主要河川と比べ、標高に対し河口からの距離が短く、急勾配であり、降った雨は山から海へと一気に流下するため、梅雨や台風により大雨が降ることで、洪水や土砂災害がたびたび発生しています。

一方、合成開口レーダー(SAR)画像は、天候状況や昼夜を問わず撮影できるため、洪水をはじめとする各種の災害監視に適しています。

SAR画像を用いた既存の浸水域調査手法としては、閾値に基づく分類、災害前後の変化検出、AIベースのアプローチなどがあります。本研究では、AIを用いないヒストグラムベースの手法により、準リアルタイムの解析を実現しました。この手法はSARセンサの種類に依存せず、計算効率が高く、精度も優れています。迅速な意思決定が求められる災害現場での運用に適しています(表1)。

既存のSAR画像による浸水域解析の主な課題には以下が挙げられます。

- ① 都市域、植生域、水域といった不均一な地形が、レーダー後方散乱へ与える影響の評価
- ② 災害前の画像や、大規模なアノテーション済みデータセットの不足
- ③ 発災時に迅速に解析結果を届けるための処理速度

本手法は、これら課題に対応しつつ、2015年から2024年にかけて日本国内で発生した洪水災害時に取得されたALOS-2、COSMO-SkyMed(CSK)、TerraSAR-X(TSX)、CAPELLAのSARデータセットを用いて開発・検証しました。

表1 SAR衛星の概要および、緊急時のデータ配信に要する時間

衛星	バンド	観測モード	解像度	観測幅	緊急時のデータ配信に要する時間
ALOS-2	L	Stripmap	3m, 6m, 10m	50~70km幅	6~12時間 (JAXA緊急観測)
CSK	X	HIMAGE	3~15m	40km幅	数日
TSX	X	Stripmap	3x3m	約30km	数日
Capella	X	Spotlight	0.3m	5X10km	2時間程度

解析手法

本解析手法の概要は以下の手順となります。

1. SARデータの前処理:

- (1) 放射量校正により、SARの機材特性および入射角依存性を補正し、同一画像内での不均一性を軽減します。
- (2) マルチルック処理と、改良型LeeフィルタによるSAR画像特有のノイズ軽減を行います。
- (3) 数値標高モデル10m DEMによるジオコーディングを実施した後、傾斜マスキング処理により傾斜地における浸水域の誤抽出を削除します。

2. 後方散乱係数の分布特性を用いた浸水域抽出処理:

- (1) 後方散乱係数のヒストグラムのうち、水面に属する画素に相当するピークを抽出し、モデル化します。
- (2) 正規分布モデルによる浸水域の推定。各画素の値をモデルに従って調査し、水面に相当する画素を推定します。この手法はニューラルネットワークで必要となるアノテーショ

ンデータを必要とせず、CPUのみで高速処理が可能となります。

- (3) 最後に、国土数値情報「湖沼」データにより定義される平常時の水域を削除し、浸水域データを作成します。

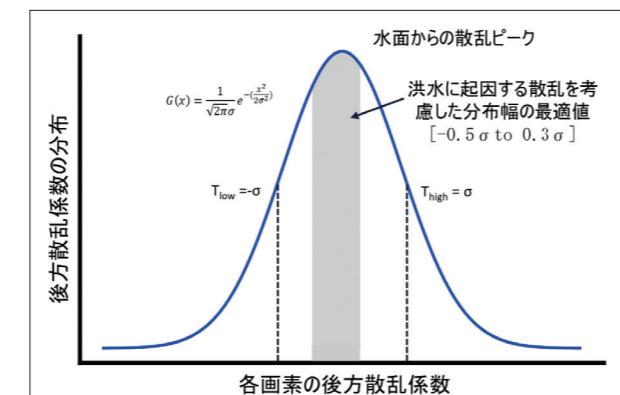


図1 正規分布モデルによる浸水域推定の概要

解析結果

一般に、浸水域はSAR後方散乱係数のヒストグラムにおいて、最も低い値のピークとなることから、本手法はSARセンサに依存せず、良好な信頼性を示します。

図2は2018年台風19号による阿武隈川流域の浸水状況を撮影した光学画像(SPOT-6)と、3種類のSAR画像で解析した浸水域を示したもの。この図によると、光学画像の浸水域に対して、3種類の解析結果がともに大きな齟齬もなく整合していることが確認できます。また図3は同じ手法をコンステレーションXバンドSARであるCapella(約30cm/画素)に適用した結果で、高解像度のSAR画像でも適切に解析できることが確認されました。

表2は、光学画像の目視判読結果を正として評価したSAR画像の解析結果の一覧です。3種のSAR画像全てでF値が70%以上を達成しています。また、それぞれのSAR画像の解析に要する時間も併記しています。本手法ではSAR画像1枚あたり(最大で50km四方)、30秒未満で処理できます。この解析速度はニューラルネットワークを用いた手法の10倍から50倍近い速度に相当します。

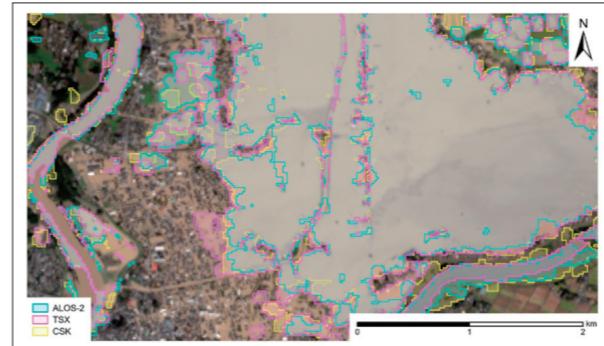


図2 2015年関東・東北豪雨(鬼怒川・小貝川周辺)におけるALOS-2、CSK、TSXの解析事例
(背景画像: SPOT, © Airbus DS 2015, 2015年9月11日観測)

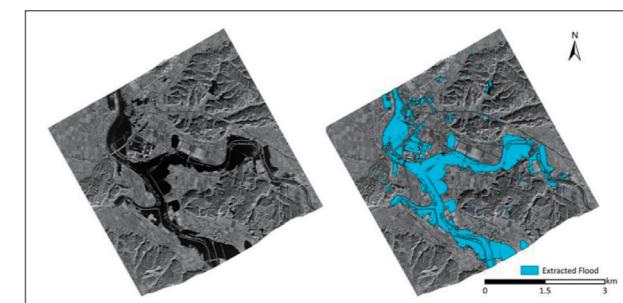


図3 CAPELLA SAR画像(左図)と、抽出した浸水域(右図、水色部分)
秋田県由利本荘市周辺、2024年7月25日観測
(© Capella Space Corp. All Rights Reserved)

表2 衛星画像別の分類精度および判定速度

衛星	適合率 (%)	再現率 (%)	F値 (%)	処理速度 (km²/秒)
ALOS-2	68.1	75.2	71.5	192.1
CSK	67.3	79.9	73.1	90.2
TSX	79.4	66.8	72.6	184.5

本技術の利点は以下のようにまとめられます。

- 解析の迅速性:SAR画像1枚あたり30秒未満で浸水域を抽出可能
- 様々なSARセンサに対応可能:単一アルゴリズムで複数のSARセンサ(ALOS-2、COSMO-SkyMed、TerraSAR-X、CAPELLA)の画像を解析可能
- 省リソース:大規模なアノテーション済みデータセットやGPU等、AIインフラに依存しない

また、残された課題には以下があります。

- 平常時水域データの整備:SARの後方散乱係数は表面の粗度に大きく依存することから、平常の水域と、浸水域を区別するには追加の情報が必要です。
- 河川堤防の位置データ整備:SAR画像の解析結果に対して、河川堤防等の位置データを追加することで、堤内地・堤外地の区別等、明確な解釈が可能となります。

おわりに

近年整備が進められている衛星コンステレーションでは、軌道上に多数の衛星を配置することで、昼夜・天候を問わず一日複数回の観測が可能な体制が整いつつあります。災害情報収集の即時性が更に向かうことが見込まれます。本技術を適用することで、深夜に観測されたデータを夜中のうち

に自動解析し、早朝結果を確認することも可能となります。本研究は内閣府の「研究開発とSociety5.0との橋渡しプログラム」(BRIDGE)における研究課題「衛星観測リソースを結集する『日本版災害チャータ』の構築と実証」の一環として実施しております。