

衛星データと DEM を用いた河川水位推定についての一考察

宇宙航空研究開発機構
神戸大学都市安全研究センター
宇宙航空研究開発機構

正会員 〇星之内 菜生
フェロー会員 大石 哲
阿波田 康裕

1. 目的

我が国では、全国に約 2000 か所ある水位観測所において河川水位の観測が行われているが、河川全体の挙動を捉えるには数が少なく、また、施設設備の老朽化も進行しつつある。このような状況下で、維持管理コストを軽減しつつ、近年の気候変動に伴う気象の極端化に対応し、安全な流域社会を形成・維持するために、河川水位観測についても新たな技術開発が求められている。一方、水害発生時の洪水域の解析・判読については衛星 SAR データと DEM の活用が進んで久しい。これは、SAR の後方散乱が水面では小さく裸地や農地では大きいという性質を利用している。そこで本研究では、同じ性質を利用して河川水位の推定を試みた。



図 1：阿武隈川流域図²⁾

2. 対象地と使用データ

対象地は令和元年台風 19 号通過に伴い大規模な河川氾濫にみまわれた宮城県伊具郡丸森町、阿武隈川水位観測所「館矢間」「丸森」付近（延長約 2km）とした。衛星データはだいち 2 号（ALOS-2）搭載合成開口レーダー（PALSAR2）プロダクツ処理レベル 2.1 を、DEM は国土地理院が提供する 5m メッシュの数値標高モデルを、水位データは上記水位観測所の観測値を用いた。表 1 に衛星データの観測時刻と、それに最も近い時刻における各水位観測所の観測値を示す。

表 1：使用データ

データ名	観測日時	プロダクト ID	オフナディア角 [deg.]	館矢間水位[m]	丸森水位[m]	備考
Train 1	2020/7/30 14:24	HBQR2.1GUA	25.4	17.04	16.61	SM2 4 偏波 FP6-3
Train 2	2021/7/29 14:24	HBQR2.1GUA	25.4	15.91	15.51	SM2 4 偏波 FP6-3
Train 3	2022/9/13 14:31	HBQR2.1GUA	33.2	閉局(15.07*)	14.65	SM2 4 偏波 FP6-6
Test 1	2022/2/3 2:42	UBSR2.1GUD	32.8	14.96	14.56	SM1 HH U2-7
Test 2	2022/6/9 2:42	UBSR2.1GUD	32.8	16.04	15.65	SM1 HH U2-7

*閉局時の館矢間水位は "館矢間水位" = a × "丸森水位" + b, a, b = 0.99317, 0.51576 にて推定した。係数 a, b は過去一年間の水位データから最小二乗法で推定した。

3. 方法 1：衛星 SAR データと DEM を用いた検討

図 2 は、過去の観測水位と DEM から求めた理想的な喫水線の色分けして示したものである。図中の数値は「丸森」の水位を示す。例えば、図中に広く分布する赤い領域は「丸森」の水位が 14.5m に達すると浸水し、それに伴って SAR 反射強度は小さな値を示すはずである。図 3 は、Test2 データについて図 2 のコンターで区切られた領域ごとに SAR 反射強度（HH 観測）の分布を箱ひげ図で示したものである。図 3 から

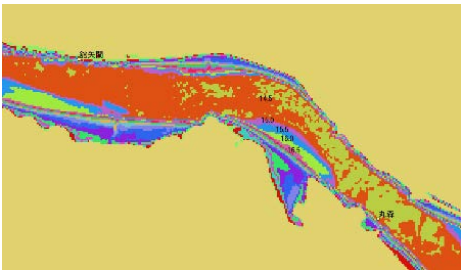


図 2：水位観測所周辺喫水線

「丸森」の水位は 15.0m 超~15.5m 未満と推定され、実測値 15.51m とおよそ一致する。しかし、表 2 に示すとおり、この方法 1 では全てのデータについて水位は 15.0m 超~15.5m 未満と推定されてしまう。この方法 1

がうまくいかなかった理由のひとつは河道部のDEMの不正確さであり、DEM作成に使用される航空レーザー測量が水面下のデータを取得できないことが一因と考えられる。また、DEMの解像度は約5mであり、50cm刻みで滑らかに連続したコンターを引くためには粗い。今後は、詳細かつ正確なDEMを用いて推定精度の改善につなげるとともに、降雨とともに変動する河道形状の反映等にも取り組みたい。

4. 方法2：衛星 SAR データのみを用いた検討

次に、SAR 反射強度（HH 観測）のみを用いた推定を行った。水位が約 1m ずつ異なる三時期のデータ（Train1, Train2, Train3）を参照データとし、それらとは異なる二時期のテストデータ（Test1, 2）がどの参照データに最も似ているかを判定した。図 4 に館矢間水位観測所付近の SAR 反射強度を示す。濃い紺色の領域は、比較的反射強度が小さく水面と推測される領域であり、3 つの Train データが水位の変化に伴う水面形状の変化を明瞭に捉えていることがわかる。スペckル除去のため Lee フィルタ³⁾を適用したのち、従来の方法である二値化を用いて類似度判定を行った。二値化の閾値は対象地周辺の湖面の SAR 反射強度の 75%タイル値を用いた。得られた二値化画像をモルフオロジ処理によって整形（図 5 参照）した後、ピクセル毎に一致判定し（一致していれば+1 点、不一致は 0 点）、合計点数を計算領域の総ピクセル数（6771 ピクセル）で除したものを類似度とする。すべてのピクセルが一致すれば類似度は 1.0 である。計算領域は、最も水位の高い Train3 において、湖面の SAR 反射強度の平均値を閾値として、水面と判定される領域とした。判定結果を表 3 に示す。Test1 は Train3 に最も類似し（推定水位 15.07m、観測値 14.96m）、Test2 は Train2 に最も類似する（推定水位 15.91m、観測値 16.04m）という良好な結果となった。なお、SAR 反射強度の勾配に対して同じ方法 2 を適用した場合にも、同様の良好な結果を得ている。

5. 結論

衛星データと DEM を用いて河川水位を推定できる可能性が示唆された。本研究における推定精度は±1m 以内である。今後は、より多くの衛星観測データと詳細で正確な DEM を入手して推定精度を向上したい。また、DEM を用いて衛星からの見え方をシミュレートすることで多数の教師データを生成して機械学習する等のアプローチにも取り組んでいきたい。

謝辞：本研究にあたり、国土技術政策総合研究所、主任研究官 土屋修一氏より助言をいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献：1) 国土交通省・JAXA 災害時の人工衛星活用ガイドブック 水害版・浸水編 平成 30 年 3 月
2) 国土交通省 阿武隈川 日本の川-東北の一級河川-阿武隈川 令和 2 年 6 月
3) Lee, J.: Speckle Suppression And Analysis For Synthetic Aperture Radar Images, Optical Engineering, Vol. 25 No.5 , 1986

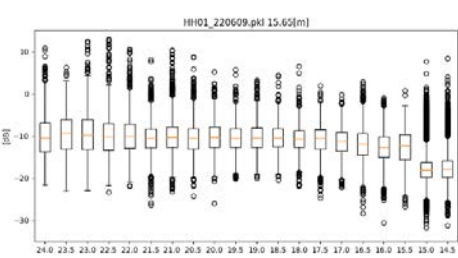


図 3：PALSAR2 画像の反射強度分布

表 2：DEM を用いた推定水位「丸森」

	観測水位[m]	推定水位[m]
Train 1	16.61	15.0~15.5
Train 2	15.51	15.0~15.5
Train 3	14.65	15.0~15.5
Test 1	14.56	15.0~15.5
Test 2	15.65	15.0~15.5

表 3：SAR 反射強度の類似度

	Train 1	Train 2	Train 3
Test 1	0.766	0.841	0.863
Test 2	0.827	0.851	0.824

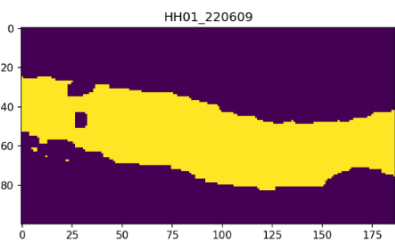


図 5：二値化した水面形状画像の例 (Test2)

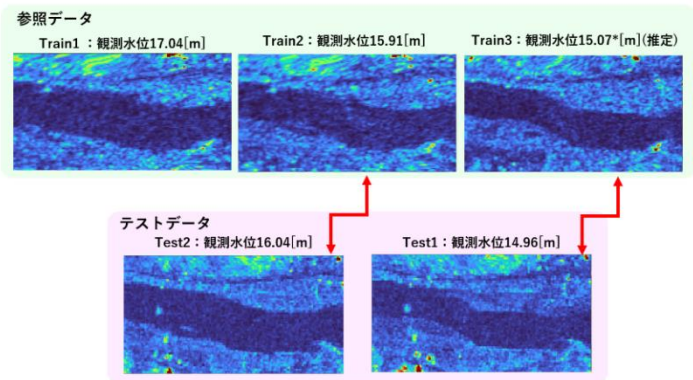


図 4：館矢間水位観測所付近 SAR 反射強度