

マイクロ波の反射強度に基づく実河川の水量の定量化

新潟大学大学院自然科学研究科 学生会員○大原 由暉
 新潟大学大学院自然科学研究科 学生会員 茂木 大知
 新潟大学災害・復興科学研究所 正会員 安田 浩保
 新潟大学工学部工学科 非会員 村松 正吾
 新潟大学理学部理学科 非会員 早坂 圭司

1. はじめに

近年、気候変動に伴い洪水の規模・頻度が増加傾向にあり、この傾向は継続すると推測されている。このため、洪水時の監視体制の強化が切望されている。具体的には、まず、越流や破堤の察知を目的とした昼夜・天候を問わない左右岸の各々における水位の縦断的に連続した把握が挙げられる。次に、降雨量の増加に対応した河道の設計ため、ピーク時の流量の正確な把握も挙げられる。

上記に対し、現状の実河川の測定や監視体制は以下のとおりである。まず、水位については、近年では危機管理型的水位計により1 km程度ごとに1点の測定が実施されるようになってきた。しかし、ほとんどが左右岸どちらか片岸のみの設置に留まる。このため、堤防の決壊や越流が発生した際の正確な位置や状況の把握は難しい。その上、水位計の測定原理が制約となり、河川沿いに設置せざるを得ず、大規模な洪水時には流失の可能性が大きい。また、流量の算定に必要な流速の測定は、一般に浮子や ADCP 流速計を用いた有人での測定が行われる。洪水時の有人による測定は観測員に大きな危険が伴い、ピーク時の流量の測定がしばしば困難となる。

著者らは、地上マイクロ波レーダーを用いることで、広範囲・高密度かつ高頻度に実河川の水面と橋梁や堤防などの固体を明確に識別できることを報告している¹⁾。図-1に、測定した反射強度の平面図を示した。地上マイクロ波レーダーは、レーダー設置箇所から測定点までの水平距離と、マイクロ波の反射強度を測定できる。マイクロ波には液体と固体で異なる反射強度となる物理的な性質があり、このために液体と固体を識別できる。また、同レーダーはマイクロ波を測定原理とするため、液体と固体の識別にあたり可視光を必要としない。このため、昼夜と天候を問わず均質な測定ができる。

著者らは、これまでに蓄積してきたエコー画像を分析し、洪水による水位の増減および表面流速に対応すると推測される挙動を確認している。つまり、測定された反射強度に基づき広範囲かつ高密度な実河川における水位や流速などの水量のリアルタイムでの把握が期待できる。本研究では、測定された反射強度に基づき左右岸の水位と表面流速の各々を推定できることを示す。

2. 反射強度の測定日時の条件

反射強度の測定は2022年3月25日10時に行った。天候は曇りで、水位は43 m程度で平水状態であった。

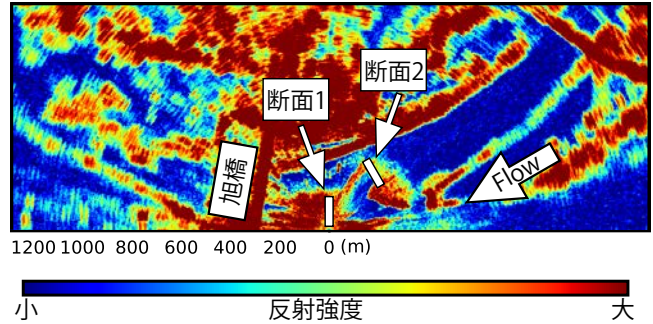


図-1 反射強度の平面図

3. 左右岸水位の推定

測定された反射強度から、左右岸の測定点のみを抜き出す。これにより、左右岸における平面座標が既知となる。その座標へ事前に測定した標高を与えることにより左右岸の水位を推定する。

(1) 左右岸における水際の検出

マイクロ波の反射強度は、その物理的な性質から水面と構造物の境界で空間的に急変する。また、マイクロ波は水の流れによる水面のゆらぎで散乱され、時間方向における反射強度の標準偏差が大きくなる。これらの性質から左右岸の水際を機械的に検出¹⁾できる。

(2) 水際と DEM による水位の推定

反射強度に基づき検出された左右岸の水際へ、写真測量により作成した標高を与える。ここで、河川の水際付近の標高が必要になるが、一般的に水面とその付近では写真測量による点群の生成は難しい。本研究では、反射強度の測定と写真測量に用いる画像の撮影を同日に行ったため、検出した左右岸の水際付近で適切な点群を生成できなかった。そこで、左右岸の水際として検出された測定点を中心とした5 m四方の領域に存在する点群の標高の中央値を左右岸の水位とした。

図-2は、水際とDEMにより推定された左右岸の水位を示したものである。縦軸は水位、横軸は、レーダー設置箇所から上流側へ向かった距離を示している。赤のポイントで左岸側の水位、青のポイントで右岸側の水位、緑の破線でレーダー設置箇所の水位観測所で測定された水位を示している。

左右岸ともに、レーダーからの距離が600 m以前では適切と考えられる水位は推定できなかった。右岸側では植生の繁茂により写真測量が適切に実施されなかったこと、左岸側では空間的に標高の変化が大きい構造物が存在していたことが理由と考えられる。しかし、左右岸

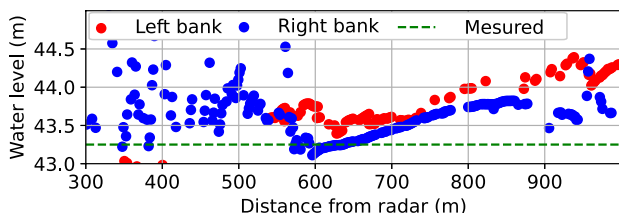


図-2 推定した左右岸の水位

ともに、レーダーからの距離が600 m以降からは一定の勾配で水位の上昇を確認でき、水位計で測定された水位と比較し、大きく矛盾はない。

以上から、平水時に作成したDEMと、それより水位が高いときに測定された反射強度による水際を用いれば、左右岸の水位を適切に推定できるものと考えられる。

4. STIVによる流速の推定

著者らは、測定された反射強度の平面図を時系列順に並べた動画(以下、エコー動画)において、表面流速と推測される挙動を確認している。現時点では、これが何の挙動を示すかは不明である。そこで、この挙動を表面流速と仮定し、画像処理で表面流速を測定する手法であるSTIV²⁾によりエコー動画から水面の流れの速度を推定した。その結果と、同時刻にドローンにより撮影した動画(以下、ドローン動画)を用いた表面流速の測定結果を比較することで、エコー動画を用いた水面の流れの速度の物理的な意味を検討した。

(1) エコー動画とドローン動画の比較

STIVでは、動画の解像度と時間間隔が得られる結果に大きな影響を及ぼす。エコー動画とドローン動画の解像度と時間間隔について表-1に示した。エコー動画と比較しドローン動画の方が解像度・時間間隔ともに大きく上回り、情報量が著しく異なることが確認できる。

(2) 表面流速の推定結果

STIVによる表面流速の推定は、図-1に示すように、レーダー設置箇所付近における断面1、そこから上流側へ200 m程度離れた断面2の2つの横断面で行った。

図-3は、断面1においてエコー動画とドローン動画から得られた時空間画像である。横軸は空間、縦軸は時間を示している。ドローン動画と比較しエコー動画の時空間画像は不鮮明ではあるが、右下へ向かう縞模様が確認でき、STIVの適用が可能と考えられる。

図-4は、それぞれ断面1、2のエコー動画とドローン動画から得られた表面流速の結果である。縦軸は流速、横軸は、それぞれの断面で原点を一致させ、左岸側から右岸側に向かった距離を示している。橙色と青色のポイントはそれぞれエコー動画とドローン動画から得られた表面流速である。

断面1、2どちらにおいてもエコー動画とドローン動画から得られた表面流速は、おおよその値と河川の中央で大きくなる傾向が一致した。表-1の通り、2つの動画は質が大きく異なる。それにもかかわらず、両者が概ね一致したことは、エコー動画のSTIVにより得られた結果が表面流速として妥当であることを示唆する。

一方で、断面1と比較し、断面2の方がエコー動画と

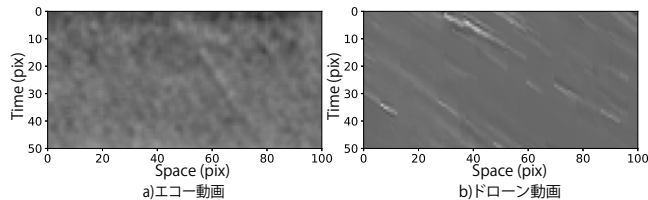


図-3 エコー動画とドローン動画から得られた時空間画像

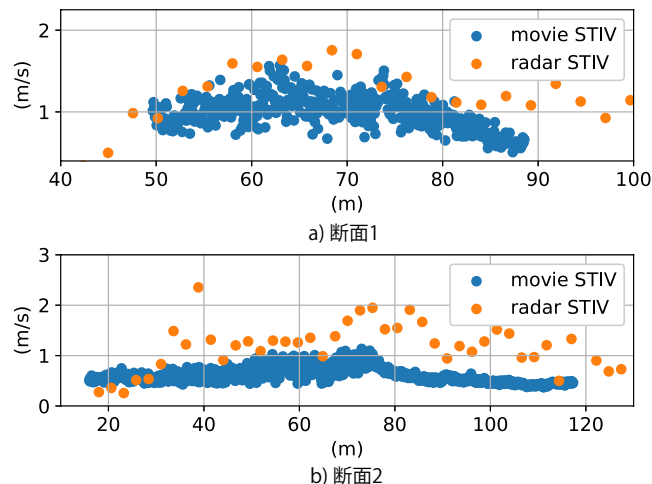


図-4 断面1、断面2における表面流速の推定結果

表-1 動画の解像度と時間間隔の比較

	解像度 (m/pix)	時間間隔 (秒)
エコー動画	2.8	2.5
ドローン動画	0.08	1/60 (60fps)

ドローン動画による結果の差が大きい。断面2は、断面1と比較しレーダー設置箇所から離れ、測定点の密度が低いことや、マイクロ波の距離減衰によって得られる反射強度の質が低下していることが原因と考えられる。

5. おわりに

本研究では、マイクロ波の反射強度に基づき実河川における水理量の推定を試行した。その結果、反射強度と別途取得したDEMとの組み合わせにより、左右岸の各々の水位を高い空間分解能で推定できることを示した。また、エコー動画に対して画像処理の手法を適用することで表面流速の推定の可能性を示した。

本研究での左右岸の水位と表面流速の推定は、平水時に測定した反射強度に基づくものである。そのため、洪水時における水位と表面流速の推定とその検証を行う必要がある。しかし、洪水時における反射強度は平水時と比較し水面の特徴が大きくなるため、平水時より良好な推定ができる可能性が高い。

本研究では、実河川において広範囲・高密度・高頻度に水理量を推定できることを示し、実河川におけるデジタルツイン構築の可能性が期待できる。

参考文献

- 1) 茂木大知, 大原由暉, 安田浩保, 他6名: マイクロ波レーダーによる河川モニタリングの概念実証, 河川技術論文集, 第27巻, pp.619-624, 2021.
- 2) 藤田一郎, 椿涼太: 時空間画像を利用した河川表面波紋の移流速度計測, 河川技術論文集, 第9巻, pp.55-60, 2003.