

マイクロ波を用いた河川における左右岸の検出

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

1. はじめに

近年、地球温暖化が要因と考えられる大規模な水害が頻発している。2019年に発生した台風19号によって東日本を中心に140ヶ所で堤防が決壊した。特に、長野市穂保地区の千曲川では左右岸合計で約6kmにわたる越流が発生している。今後、水害の大規模化と高頻度化が予測されている。しかし、多くの河道はこれらの洪水にすぐに対応できる水準にない。よって、適切な避難行動や水防活動を可能とするため、堤防の天端に対しどの程度まで水位が迫っているかや、堤防の決壊や越流が発生した位置などのきめ細やかな把握が求められている。

現在、水位計やCCTVカメラなどにより河川は観測されているが、洪水時において前述したような情報を得ることが難しい。水位計による水位の観測は平均して10kmに1点かつ基本的に片岸のみの測定であり、堤防の決壊や越流が発生した際の正確な位置や状況などの把握はできない。また、兩岸で越流などが発生しても、一つの水位計からはそれを察知することは難しい。水位観測所に併設されるCCTVカメラによる観測では、雨天時や夜間時においてその見通し距離が著しく低下する。洪水には基本的に激しい降雨を伴うこと、24時間のうちの半分程度で日照が期待できないことから、河川の監視では大きな問題となる。これらの問題点を人力による目視で補っているが、大きな危険が伴うため、安全の確保に課題がある。また、水位計・CCTVカメラともに堤防沿いに設置され、洪水によって流失する可能性があり、台風19号時の千曲川では実際に流失している。

著者らは、主に船舶用として利用されてきたマイクロ波レーダーを河川に対して用いることで、数km²という広範囲において、時間・空間ともに高い分解能で河川を観測できることを示している¹⁾。図-1は、星印の位置に設置されたレーダー周辺の航空写真及び、マイクロ波により測定した反射強度の平面図を示したものである。この範囲において約20万点の反射強度が測定されている。同測定値にはレーダーから反射強度の測定地点までの平面座標も含む。マイクロ波は液相と固相とで反射強度が大きく異なる物理的な性質があり、水面と堤防や橋梁などの構造物を識別できる。また、マイクロ波は、その計測原理から基本的に昼夜や天候の別を問わない。

本研究では、肉眼では十分な視界が確保できなかった降雨時に測定したマイクロ波の反射強度に対して数理的な処理を施すことにより、河川の左右岸における水際を機械的に検出し、マイクロ波レーダーによる洪水時の河川監視の可能性について示す。

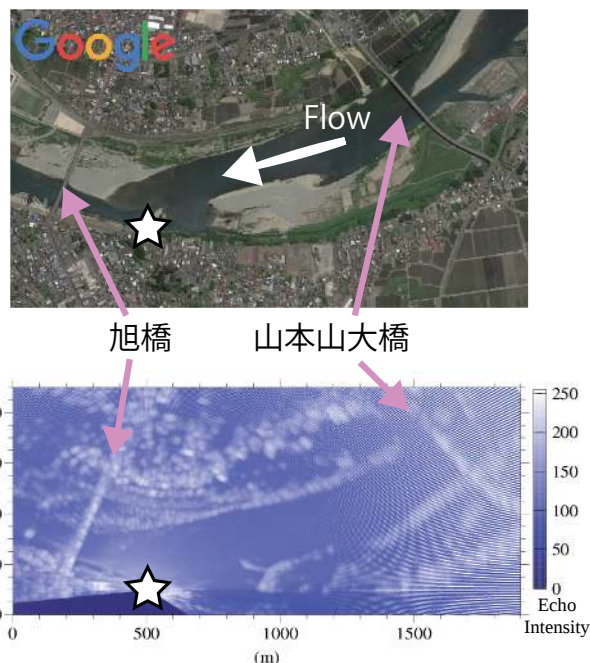


図-1 レーダー設置箇所周辺の航空写真(上図)・反射強度の平面図(下図)

2. 反射強度の測定日時の条件

マイクロ波レーダーによる反射強度の測定は2020年7月28日15時に行った。このときの天候は雨天、直近の雨量計によると1時間あたりの降雨量は15.5mmであり、視界は300mほどと非常に悪かった。

3. 反射強度に基づく河川水際の検出

反射強度のエコーデータは極座標 $e(r_i, \theta_j)$ で表され、以下 $e_{i,j}$ のように表記する。マイクロ波の反射強度が液相と固相で大きく異なる性質により、水面と堤防などの構造物の境界で反射強度が急変することから、河川の左右岸における水際では反射強度の空間方向における二階微分の値が大きくなる。ここで、 θ 方向の反射強度の二階微分 $\left(\frac{\partial^2 e}{\partial \theta^2}\right)_{i,j}$ の平面図を示したものが図-2、 r 方向の反射強度の二階微分 $\left(\frac{\partial^2 e}{\partial r^2}\right)_{i,j}$ の平面図を示したものが図-3である。それぞれ河川の左右岸で二階微分の値が大きいたことが確認でき、この値が一定以上の測定点が左右岸における河川水際の候補となる。

マイクロ波は液相と固相で反射強度が異なる性質を持つほか、水の流れや雨滴の着水などの水面のゆらぎでマイクロ波が散乱されることにより、河川の水面の測定点における時間方向に対する反射強度の標準偏差が大きい

Key Words: Xband-radar, Remote sensing

〒950-2181 新潟市西区五十嵐2の町8050 TEL 025-262-7053

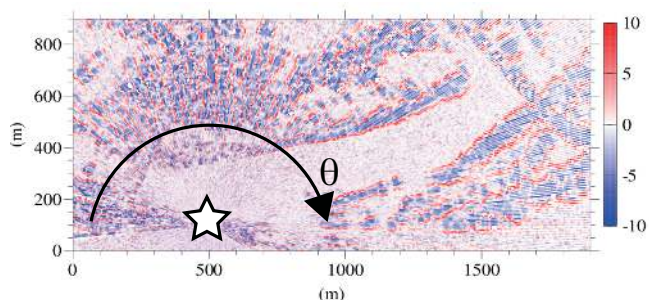


図-2 $\left(\frac{\partial^2 e}{\partial \theta^2}\right)_{i,j}$ の平面図

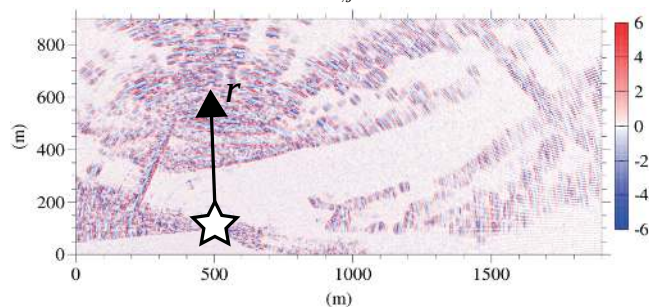


図-3 $\left(\frac{\partial^2 e}{\partial r^2}\right)_{i,j}$ の平面図

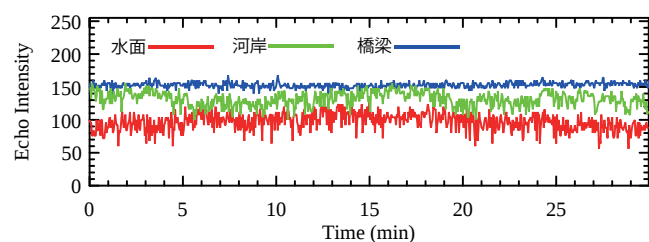


図-4 反射強度の時間変化

性質も持つ。

図-4 に、水面・河岸・橋梁の測定点において約 30 分間で得られた反射強度の時間変化を示した。赤線で示した水面の反射強度の時間変化の直線では、河岸・橋梁の直線と比較して反射強度が小さくその振れ幅が大きいことがわかる。つまり、河川の水面では時間方向に対する反射強度の平均値が小さく標準偏差が大きいので、標準偏差を平均値で除した変動係数は大きな値となる。

表-1 は、水面・河岸・橋梁の測定点において約 5 分間で取得した反射強度の変動係数を示したもので、水面では他の測定点と比較して変動係数が大きいことが確認できる。また、その平面図が図-5 であり、測定範囲全体において水面の測定点の変動係数がその他の測定点より大きい傾向が確認できる。

以上を踏まえ、本研究では、反射強度の空間方向の二階微分に基づいた左右岸の候補の測定点から周囲の測定点を探索し、変動係数の値が大きい測定点が存在した場合、その候補の測定点を河川水際と決定することとした。

図-6 は、上述の方法により左右岸における河川の水際を検出し、右岸側を赤、左岸側を緑のシンボルで示し

表-1 それぞれの測定点における反射強度の変動係数

測定点	変動係数
水面	0.131
河岸	0.067
橋梁	0.027

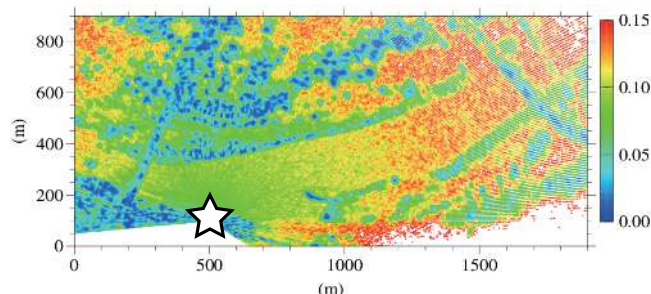


図-5 変動係数の平面図

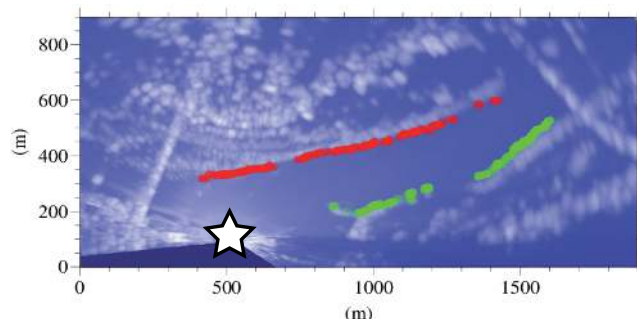


図-6 機械的に検出した河川水際

たものである。検出した測定点の数は右岸側で約 300 点・左岸側で約 250 点程度であった。反射強度の測定時の降雨量は 15.5mm/h で、視界が遮られるほどであったが、左右岸を時空間に連続して検出できることが分かった。

本研究における数理的な処理は、堤防などの構造物と水面の境界を検出するもので、堤防の決壊や越流時においても同様に適用できることが推測される。つまり、十分な視界の確保が難しい降雨時においてさえ、決壊や越流の位置や状況について確実に把握できる可能性が示唆された。

4. おわりに

本研究では、マイクロ波レーダーを用いて、数理的な処理により左右岸における河川水際を広範囲かつ高分解能に検出できることを示した。また、本研究は、事前に測定した周辺の地形データと河川水際の平面座標を対応させることで、左右岸における水位を独立に測定できる可能性を示唆する。同観測手法は、昼夜と気象条件を問わず、また、同観測機材の流失も回避した上で、決壊や越流の位置や状況の確実かつ連続した把握が期待できる。

参考文献

- 1) 茂木大知, 安田浩保, 大竹雄, 早坂圭司, 村松正吾, 他 2 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, 第 38 回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会, 2020.