

マイクロ波レーダによる河川モニタリングの概念実証

新潟大学大学院自然科学研究科 ○学生員 茂木 大知
 新潟大学災害・復興科学研究 正会員 安田 浩保
 東北大学大学院工学研究科 正会員 大竹 雄
 新潟大学理学部理学科 非会員 早坂 圭司
 新潟大学工学部工学科 非会員 村松 正吾
 信濃川河川事務所 西村 雄喬
 信濃川河川事務所 有澤 良佑

1 はじめに

地球温暖化を要因とした気候変動は、20世紀に比べて降水現象の規模を変化させつつある。特に近年の国内では、未知の規模の河川災害が毎年発生しており、2019年には台風19号によって東日本を中心に140箇所で堤防が決壊した。中でも、象徴的な被害として記憶される長野県穂保における両岸越流および片岸の破堤は、河川整備計画基準を満たした堤防の破損であり、既存の技術による河川の外力増加への対応が難しいことを示唆する。

自然災害への対応の基本は、平時と発災時の各々のきめ細やかな観測と、それらの事実に基づく対策の立案である。しかし、現在常用される観測技術では点情報しか取得できないうえ、設置間隔が疎らである。加えて、県が管理する河川では財政的な事情により水位観測所が一つも設置されていない河川さえ存在する。また、実験水路における計測の時間と空間の分解能についても同様の状況である。つまり、様々な技術分野に革新をもたらしているビッグデータを取得できる境遇にさえなく、特に河川災害への対応技術は技術革新の起点にさえ立てていない。

洪水や津波などの自然災害は、自然現象の観点からは数km²ほどの比較的広範囲における固相と液相が共存する物理と言える。このような場を高い分解能で計測する方法の一つとしてマイクロ波が挙げられる。マイクロ波による計測は、一般に天候や時間帯に左右されにくく、固相と液相で反射強度が異なる性質を持ち、空間分解能も高いことが特徴である。例えば、Wenら¹⁾はSARにより東北大震災における津波の浸水範囲と建物の被害状況が得られたことを報告している。しかし、マイクロ波を用いて河川を計測した事例は著者らの知る限りない。本研究は、現行の観測状況とマイクロ波レーダの観測結果との比較を行った上で、マイクロ波レーダを用いた河川の水理の計測と危機管理における可能性について論じる。

表-1 河川総延長と水位観測点数

河川名	河川総延長	水位観測所	危機管理型
利根川	322km	27点	50点
信濃川	367km	21点	59点
石狩川	268km	22点	40点

表-2 現行観測状況まとめ

	a)	b)	c)	d)
水位計	○	×	○	-
CCTVカメラ	○	×	×	-

2 現状の河川観測状況

本章では、国内河川に一般的に配備されている観測体制について、基準を明確にした上で評価する。ここでは、危機管理型水位計の洪水時における計測の時間間隔やDEM等の地形データの空間分解能、観測時の状況等を参考にして、a)10分程度の時間分解能、b)10m程度の空間分解能、c)夜間や豪雨などの時間・天候の影響が少ない、d)面的な計測の同時性の担保のため、計測原理の伝播速度が水の伝播速度 \sqrt{gh} より速い、などを評価の基準として整理した。

2.1 水位観測状況

水位は、河川の状態や越流の危険度を把握するために最も直感的かつ一般的に用いられる指標である。表-1は、国内を代表する河川の総延長と水位観測所数、洪水時に水位を計測する危機管理型水位計の設置数を表す。水位観測所は常時計測であり、危機管理型水位計も洪水時には10分間隔で計測を行うため、a)は満足する。しかし、表-1の様に、狭窄部や合流部などの危険性の高い場所に主に設置しているとはいえ、河川延長に対して設置数が非常に少なく、b)の満足は難しい。特に、危機管理型水位計は、平時時には計測が行われないため空間の分解能はさらに低下する。また、どちらの水位計とも流路に隣接して設置する必要があり、洪水時に流失する危険性が高い。

2.2 流況・堤防監視状況

特に洪水時の河川では、堤防や橋梁等の土木構造物の状態を監視する必要がある。一般にこれらの監視は、通常堤防上に設置された CCTV カメラを用いている。しかし、撮影範囲が狭い上に近傍と遠方の解像度が異なり、時間帯や天候によって見通し距離が大きく増減するなど、b) 及び c) を満足できない。また、水位計と同様に堤防の欠損に伴って流失する危険性がある。

2.3 現状の観測状況のまとめ

現行の観測状況をまとめると表-2 の様に整理できる。ここで、基準 d) に関しては、両者とも連続した観測値が得られないため考慮しない。本章で整理した現行の監視態勢の不足分は、通常人力による巡視により賄われている。しかし、洪水時の河川に直接接近しなくてはならず、その安全確保には課題が多い。

3 マイクロ波を用いた河川観測

3.1 水位計と監視カメラの上位互換としての活用

図-1 は、新潟県の信濃川小千谷観測所に設置したマイクロ波レーダーによって計測されたレーダー反射強度の平面図である。同図の計測半径は約 1.6km、計測面積はおよそ 8km²、この計測範囲において半径方向 1.9m に 1 点の反射強度が得られる。一般に広範囲を計測対象としたマイクロ波レーダーは人工衛星に搭載されているが、衛星軌道の影響により計測は 1 日 2 回程度に制限される。その一方で、今回小千谷観測所に設置したような地上設置型は、マイクロ波の伝播速度が光速である恩恵を享受し、その時間分解能は 2.5 秒である。この他、雨や雪などの天候が計測に及ぼす影響は今後検証する必要があるが、マイクロ波はその計測原理上可視光線を経由しないため、時間帯による影響はない。以上より、マイクロ波を用いた観測手法は前章の a) から d) の要件を全て満たし得る観測手法であると言える。

マイクロ波には固相と液相で反射強度が異なる物理的性質がある。図-1 に示した通り、反射強度の異なる河川水面と河岸の境界や橋梁が明瞭に計測されている。この性質により、平時と洪水時の水際の観測、洪水の越流の検知、堤防が破堤した際にその開口幅の時間変化及び浸水域の拡大速度を数 m の空間分解能で実測できる可能性が高い。さらに、同等の空間解像度を持つ DEM との比較により、水際の平面座標から水位の大まかな推定が見込める。

マイクロ波レーダーの特徴の一つは計測範囲の広さである。この点に着目すると、堅固な建物の屋上や河岸段丘上

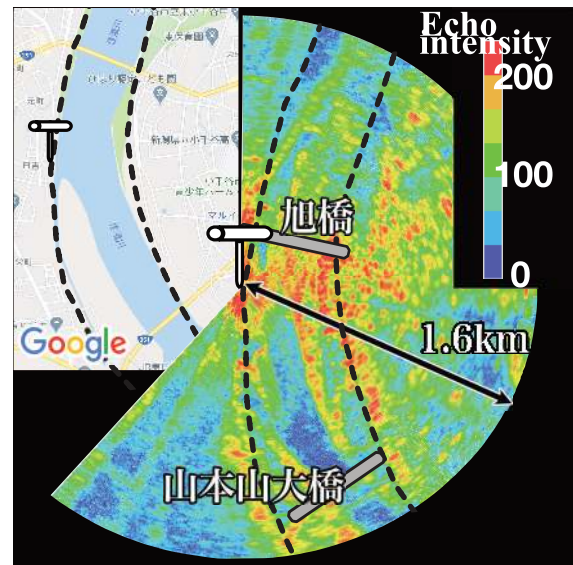


図-1 マイクロ波レーダーによる計測結果

などを設置場所に選択でき、洪水時の流失を予防できる。

3.2 データ駆動型監視法への活用

マイクロ波レーダーを用いた 1 回の計測は、計測範囲内で 70 万点以上のデータを 2.5 秒で得ることができる。特に、河川水面上に限ってもおよそ 4m² に 1 点以上の密度があり、これはビッグデータに該当する高次元データである。著者らの研究グループでは、1 次元の水面勾配から底面の移動速度が推定できること²⁾ や、平面 2 次元の水面形状から DMD によって底面形状を推定できる可能性³⁾ を示している。この他、画像処理により水面の波紋等を追跡することで流速を面的に計測した例⁴⁾ もあり、河川水面の高次元データを取得することの意義は大きい。

4 おわりに

本論文では、実河川に設置されたマイクロ波レーダーの計測結果に基づき、マイクロ波レーダーを用いた河川の水利の計測や危機管理における可能性について示した。

参考文献

- 1) Wen Liu, Fumio Yamazaki, M.EERI, Hideomi Gokon, Shun-ichi Koshimura : Extraction of Tsunami-Flooded Areas and Damaged Buildings in the 2011 Tohoku-Oki Earthquake from TerraSAR-X Intensity Images, Earthquake Spectra, Vol.29, No.S1, pp. S183-S200, March 2013.
- 2) 石原道秀, 安田浩保 : 交互砂州の伝播速度の空間分布とその時間的な変化, 土木学会論文集 A2, 2020(査読中).
- 3) Y. Kaneko, S. Muramatsu, H. Yasuda, K. Hayasaka, Y. Otake, S. Ono, M. Yukawa : Convolutional-Sparse-Coded Dynamic Mode Decomposition and its Application to River State Estimation, IEEE ICASSP2019, 2019.
- 4) Fujita I. : Visualization and PIV Measurement of River Surface Flow, International Conference on Optical Technology and Image Processing in Fluid, Thermal, and Combustion Flow, 1998.