

リアルタイム浸水ハザードマッピング実現に向けた現地浸水情報の同化技術 Data Assimilation Technique of Local Inundation for Real-time Flood Hazard Mapping

○佐山 敬洋・寶 馨

○Takahiro SAYAMA, Kaoru TAKARA

Real-time information of flood inundation can be effective for safe evacuations and appropriate measures. Real-time hazard mapping on floodplains, however, has not been achieved yet with a few exceptions. One of the reasons is the difficulty to conduct an inundation simulation on the real-time basis with uncertain boundary conditions, especially with levee breaching. On one hand, recent advancement of ubiquitous information devices have been enabling to send out local information from disaster affected areas. Therefore, how to efficiently use the local disaster information combined with hazard simulations is a new challenge for the real-time mapping. This study proposes a two-step data assimilation techniques with Bayesian and variational assimilation approaches for estimating inundation area and depth by using point inundation information and pre-conducted multiple simulations. Two case studies on a synthetic flooding and the 2015 Kinu River flooding will be presented as the application.

1. 背景

洪水によって浸水が発生した際に、「いま・どこで・どのような浸水が発生しているか」という情報は、自治体による災害対応や、住民の安全な避難行動にとって基本的な情報である。河川管理者による現行の洪水予測は、降雨から河川流量や水位を予測することに主眼が置かれており、堤防決壊などに伴う洪水氾濫が発生した場合には、どのように浸水が広がるかを推定することは実現できていない。住民に配布されるハザードマップの浸水想定範囲は、あくまでも事前に想定したシナリオ（氾濫流量の外力条件）に基づく氾濫シミュレーションの結果を包含するものであり、現実発生する浸水の状況を時々刻々と表現するものではない。従って、現状では浸水の状況を自治体が把握するためには、断片的に入手される現場からの情報を頼りに経験的に推定するより他はない。近年では、災害情報システムを導入することで、被害の情報を効率的に収集・共有できる自治体も多くなっているが、浸水に関連する情報は特定の地区や地点における情報に限られており、浸水深の空間分布をリアルタイムで俯瞰的に把握することはできない。

リアルタイム浸水ハザードマッピングを実現するためには、大きく分けて二つのアプローチが考えられる。一つはハザードマップを作成する際に用いられる氾濫シミュレーションをリアルタイム

で実行する方法である。地形の影響なども反映して氾濫水の広がりを詳細に予測できることが利点である。一方、シミュレーションの境界条件となる越流量をいかに災害時に推定するかが課題となる。また災害対応に追われる中で、氾濫シミュレーションを実行する人的リソースをいかに確保するかという現実的な問題もある。さらに、このアプローチは現地からの情報を浸水のマッピングに反映していないという本質的な問題がある。もう一つのアプローチは現地の情報をできる限り多く集めてマッピングする方法である。ソーシャルメディアや防犯カメラの情報など、今後より多様な手段で災害情報が収集できるようになると期待されており、将来性のあるアプローチといえる。しかし、本質的には上記の現行方法と同じであり、浸水状況を俯瞰的に把握するためには相当数の現地情報が必要となる。

2. 提案手法の概要

本研究では上記の二つのアプローチを統合する方法を開発する。事前に複数の条件（破堤地点・越流量・粗度係数等）で多数の氾濫シミュレーションを実行する。それらのシミュレーション結果とリアルタイムで入手される浸水情報を統計的に同化することによって、リアルタイムの浸水ハザードマッピングを実現する。具体的には、以下の二段階で観測情報の同化を行う。

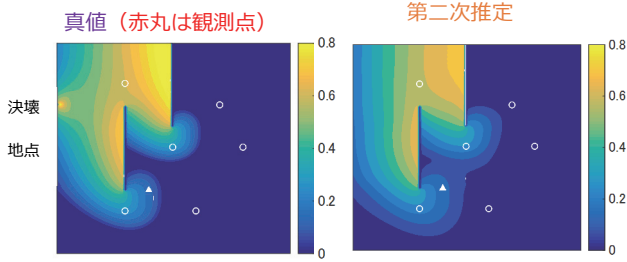


図1 仮想ケースの真値(左)と第二次推定の結果(右)

(1) 条件の異なる複数のシミュレーション結果と現地情報を比較して、各氾濫シミュレーション結果が実際の現象にどの程度近いかを表現する尤度を推定する。その際、最新時刻での近さだけでなく、それまでに観測された情報とどの程度近かったかという過去の情報も反映させるために各氾濫シミュレーションの尤度を逐次更新しておく。求めた尤度の重みつき平均によって浸水深分布の第一次推定を求める。

(2) 第一次推定は複数のシミュレーション結果の合成であるため、様々な要因で観測結果と符合しない可能性がある。第一次推定をさらに補正して観測状況による近づけるために第二次推定を行う。第二次推定では、事前に求められた多数の氾濫シミュレーション結果から地点間の分散共分散行列を求めておき、第一次推定結果と観測情報との誤差の補正に反映させる。すなわち事前の氾濫シミュレーション結果から「水理的に近い場所」の情報を求め、そのような場所は当該地点の観測情報の影響を色濃く反映させるように第二次推定を行う。この二段階推定によって、地形や構造物の影響を加味しつつ、現地状況を的確に反映した浸水深分布が推定できるようになる。

3. 提案手法の適用例

仮想的に設定した氾濫原(図1)を対象に、別のシミュレーションで求めた仮想的な真値を用いて手法の妥当性を確認する。このケースでは図中左上の決壊地点で破堤した際の浸水分布について、白丸で示された5地点で観測があった場合に、第一次推定・第二次推定でそれぞれどの程度真値の浸水心分布を再現できるかを確認している。図中の縦の線は水を通さない盛土を設置して計算している。シミュレーションの期間は48時間とし、真値のシミュレーションと、事前に想定するシミュ

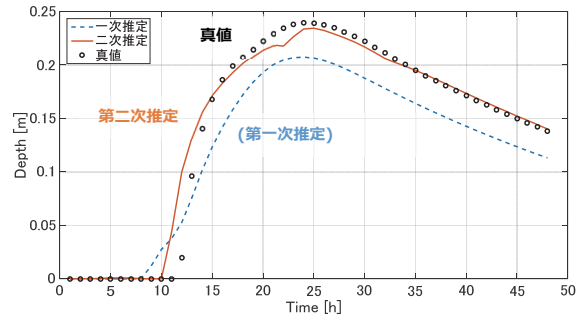


図2 特定の地点(図1△)の浸水深時系列

レーションの流入境界条件はその時間分布が異なるものを用いている。また、事前シミュレーションは、5種類の粗度の値(0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 $m^{-1/3}s$)、5種類の破堤地点(上方から10, 30, 50, 70, 90セル目での破堤を想定)、及び基本の時系列を引き延ばした11種類の越流量を用いて事前計算を行った。

図1(左)は決壊後15時間経過時点での真値(仮想真値)である。図1(右)は決壊後15時間経過時点での(仮想)観測データから浸水シミュレーション結果を用いて作成した再現浸水データ(一次推定結果)を示す。紙面の都合上図は省略しているが、上述のような二次推定を行うことにより、一次推定よりも真値に近い浸水ハザードマップを作成できることを確認している。また、図2は図1中に白三角で示す地点の浸水深さ(推定浸水位から地盤標高を差し引いたもの)の時系列変化を示すグラフである。この時系列変化からも、一次推定結果よりも二次推定結果の方がより(仮想)真値に近い結果を得られることが分かる。

提案した手法は2015年9月の関東東北豪雨によって浸水被害を受けた常総市周辺の浸水域の推定法にも適用している(図は省略)。浸水深の情報が複数地点で得られるという状況を想定した数値実験では、実際に発生した状況とは異なる境界条件を有する複数のシミュレーション結果を組み合わせることで提案した同化手法を適用することで、実際の浸水状況に近い浸水深を再現できることを確認している。今後は、実用的な浸水マッピングを実現するうえで、どの程度の数と精度の現地情報が必要かを明らかにすることが課題である。

特許出願中：「リアルタイム浸水ハザードマッピングのための現地情報同化技術」、出願番号2016-245158、出願日：2016年12月19日