

ネスティング型の流出・氾濫一体モデルによる浸水被害額の確率的評価手法の開発

京都大学大学院工学研究科 学生員 ○田中智大
 京都大学大学院工学研究科 正員 立川康人
 京都大学大学院工学研究科 正員 萬 和明

1 はじめに 全国的な河川整備・ダム建設によって洪水の頻度は減少してきたが、流域開発や資産の集中化などの影響で洪水被害自体は減少していない。さらに、将来の気候変化による豪雨の強大化や社会構造の変化などによって、現行の計画を超過する外力に対して大きな被害が懸念される。こうした中で今後の治水計画、また水災害リスク管理を考えるためには、流域の水災害に対するリスクを評価することが重要となる。

そこで本研究では、水災害リスクの定量的評価に用いる浸水被害額の確率情報として、その年最大値の確率分布を年最大降雨量の確率分布および流出・氾濫モデルから作成する手法を開発した。

2 年最大浸水被害額の確率分布の作成手法 ある超過確率をもつ降雨量から浸水被害額を計算するとき、降雨の時空間パターンによって得られる浸水被害額は変化する。そこで、降雨の時空間パターンを考慮して年最大総降雨量を年最大洪水ピーク流量に変換する総合確率法¹⁾を拡張して、年最大総降雨量を年最大浸水被害額に変換する手法を開発した。

総合確率法は以下の4つの仮定のもとで年最大総降雨量の確率分布から年最大洪水ピーク流量の確率分布を求める手法である。

- 1) ある降雨期間内の総降雨量と降雨の時空間パターンは独立である。
- 2) 全ての降雨パターンにおいて、総降雨量のみを増加させた場合、洪水ピーク流量は単調に増加する。
- 3) 降雨の時空間パターン $\xi(x, y, t)$ は N 個のパターンのみをとるとし、 i 番目の降雨パターン $\xi_i(x, y, t)$ が生起する確率を p_i とする。また、降雨期間は T_r として固定する。
- 4) 洪水を生じさせるような降雨の発生は、単位時間あたりの発生確率が μ のポアソン過程に従うとする。

このとき、年最大洪水ピーク流量の確率分布関数 $F_{Q_{pmax}}(Q_p)$ が以下で得られる。

$$F_{Q_{pmax}}(Q_p) = \prod_{i=1}^N F_{R_{max}}(R_i(Q_p))^{p_i} \quad (1)$$

ここで、 $F_{R_{max}}(R)$ は年最大総降雨量の確率分布関数、 $R_i(Q_p)$ は i 番目の降雨パターンで洪水ピーク流量 Q_p に対応する総降雨量、 p_i は降雨パターン i の生起確率である。

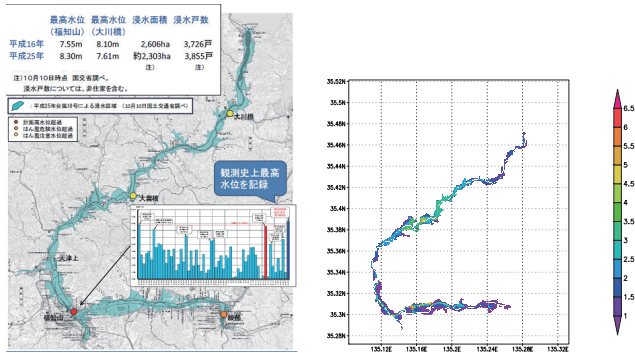
総合確率法を拡張することで、年最大浸水被害額の確率分布関数 $F_{Mmax}(M)$ を以下の式で得る。

$$F_{Mmax}(M) = \prod_{i=1}^N F_{R_{max}}(R_i(M))^{p_i} \quad (2)$$

ここで、 $R_i(M)$ は降雨パターン i での浸水被害額 M に対応する総降雨量である。

具体的な手順は以下のとおりである。

- 1) 降雨パターン $\xi(x, y, t)$ を過去の主要洪水などから N 個得る。ここで、降雨パターン $\xi_i(x, y, t)$ は時間 t および空間 x, y に関して積分した総降雨量が1となるように正規化する。
 - 2) 各降雨パターンごとに、流域平均総降雨量 R および降雨パターン $\xi_i(x, y, t)$ から降雨イベントを作成し、流出・氾濫モデルに入力して最大浸水深分布を得る。そして、最大浸水深をもとに対象領域の浸水被害額を計算する。
 - 3) 2) の操作を降雨量を引き延ばして繰り返すことで、降雨パターン $\xi_i(x, y, t)$ での総降雨量と浸水被害額の関係 $R_i(M)$ を得る。
 - 4) 年最大流域平均総降雨量 R_{max} の確率分布関数 $F_{R_{max}}(R_{max})$ を得る。
- 1) ~ 4) を用いて (2) 式左辺の $F_{Mmax}(M)$ を得ることができる。



(a) 浸水域の実測値 (国交省) (b) 最大浸水深分布の計算値). 青い領域が浸水範囲を示す。

図1 浸水域の実測値と計算値の比較

3 流出・氾濫一体モデルの概要 前章で示した手法は、多数の降雨流出・氾濫計算を必要とする。そこで、降雨流出および氾濫計算を一体的かつ高速に行う流出・氾濫一体モデルとして、筆者らが開発したネスティング型の降雨流出・氾濫一体モデル²⁾を用いた。本研究で用いたモデルでは流域全体に対して緯度経度空間分解能 30 秒 (約 1km) で分布型流出モデルによる流出計算を行い、任意の一部の領域で流出計算結果を用いて緯度経度空間分解能 3 秒 (約 100m) で氾濫計算を行うネスティング構造となっている。地形データは HydroSHEDS³⁾を用いた。流出計算では、中間流を考慮したキネマティックウェーブモデル⁴⁾を適用して山地流出を計算し、河道では地表面流型のキネマティックウェーブモデルを適用した。氾濫計算では、十分な精度で高速に浅水波方程式を解くことができる局所慣性方程式⁵⁾を用いた。

4 年最大浸水被害額の確率分布作成手法の由良川流域への適用

4.1 流出・氾濫一体モデルの適用 本研究の手法を由良川流域に適用する。まず、前章の流出・氾濫一体モデルを由良川流域で構築し、平成 25 年台風 18 号による洪水・氾濫イベントを再現する。パラメータは 2004 年の台風 23 号イベントで同定した。降雨データは、国交省の 10 地点の地点雨量データを用いた。図 1(a) に国土交通省⁶⁾による浸水範囲の実測値、図 1(b) に氾濫計算による最大浸水深分布を示す。図 1(a)、図 1(b) から、浸水範囲はおおむね一致していることがわかる。面積についても実測値が 23.03km²、計算値が 20.87km²となり、おおむね一致していることがわかる。

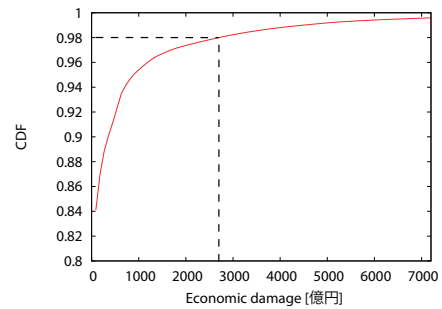


図2 由良川流域の年最大浸水被害額の確率分布

4.2 年最大浸水被害額の確率分布の作成 前節で構築した流出・氾濫一体モデルを用いて年最大浸水被害額の確率分布を作成した。降雨パターンは 1972 年、1982 年、1983 年、1990 年、1995 年に発生した 5 つの豪雨イベントを用いた。年最大総降雨量の確率分布は、2 日雨量の年最大値に対して Gumbel 分布を採用した。図 2 に、作成した年最大浸水被害額の確率分布を示す。これにより、例えば 50 年確率規模の浸水被害額が約 2700 億円程度といった評価を行うことができる。なお、被害額の確率分布の計算では、大野ダムの洪水調節操作を考慮していない。

5 結論 降雨の空間分布を考慮して流出・氾濫一体モデルによって年最大浸水被害額の確率分布を作成する手法を開発し、由良川流域の年最大浸水被害額の確率分布を作成して手法の適用例を示すことができた。

参考文献

- 1) 土木学会水工学委員会 日本のかかわと河川技術を知る (利根川) 編集委員会: 日本のかかわと河川技術を知る～利根川～, 2.3.4 基本高水の算出方法, pp. 66-75, 土木学会, 2012.
- 2) 田中智大, 立川康人, 萬和明: 分布型流出モデルをネスティングする流出・氾濫一体型モデルの構築, 土木学会論文集, B1(水工学), Vol. 70, No. 4, 2014.
- 3) USGS: HydroSHEDS, <http://hydrosheds.cr.usgs.gov/datasets.php>(2014/2/14 確認.)
- 4) 立川康人, 永谷言, 寶馨: 飽和, 不飽和流れの機構を導入した流量流積関係式の開発, 水工学論文集, 48, pp.7-12, 2004.
- 5) Paul D. Bates, Matthew S. Horritt, Timothy J. Fewtrell: A simple inertial formulation of the shallow water equations for efficient two-dimensional flood inundation modeling, Journal of Hydrology, Vol.387, pp. 33-45, 2010.
- 6) 国土交通省近畿地方整備局河川部: 平成 25 年台風 18 号災害概要, pp. 1-10, 2013.