

インダス川全流域を対象とした2次元降雨流出氾濫解析

土木研究所 ICHARM 正会員 ○ 佐山 敬洋
 土木研究所 ICHARM 正会員 鍋坂 誠志
 土木研究所 ICHARM 正会員 深見 和彦

1. はじめに

2010年7月から8月にかけてパキスタンで大規模な洪水災害が発生した。この洪水では、まずインダス川上流域に位置するカブール川流域を中心にフラッシュフラッドが発生し、1000名以上の死者をもたらす未曾有の災害となった。さらに、モンスーンの影響によって8月中もパキスタン南部で降雨が継続し、インダス川本川沿いで広域の洪水氾濫が発生した。本論は、2010年のパキスタン洪水を対象に、筆者らが開発を進めている降雨流出氾濫モデル(Rainfall-Runoff-Inundation Model: RRI Model)^{1), 2)}を適用する。カブール川流域(92,605 km²)においては、衛星リモートセンシングによって特定の難しいフラッシュフラッドの被害域をどの程度特定できるか、また、インダス川全流域(計算領域:930,000 km²)においては本川から約100 kmも離れて広がった広域の氾濫水の挙動をどの程度再現できるかに着目して分析を行う。

2. RRIモデルの概要

RRIモデルは、降雨を入力として河川流出から洪水氾濫までを一体的に解析するモデルである。降雨流出と氾濫とを2次元で一体的に解析することにより、従来の分布型流出モデルでは再現の難しかった低平地における流出氾濫現象を再現できるようになる。このモデルの特徴は、1) 拡散波近似した運動量方程式を2次元に展開し、流出と氾濫とを一体的に解析すること、2) 降雨流出過程をより妥当に表現するため、地中部の流出過程(鉛直浸透流および側方地中流)を考慮すること、3) 斜面部と河道部とを分け取り扱い、河道部には1次元の拡散波近似モデルを適用していることである。なお、斜面部と河道部との水のやり取りは越流公式で計算する。数値解法には5次の適応時間ステップルンゲクッタ法を採用し、数値誤差に応じて適宜時間ステップを調整しながら安定的に解析を進める。

3. カブール川流域への適用

モデルの入力となる地形データセットは、30 sec (約761×924 m)の空間分解能を持つSRTM全球地形データセットとする。また、河道セルを特定するために、HydroSHEDSによる落水方向・集水面積データセットを用いる。河道の幅と深さは、衛星リモートセンシングや現地の写真より集水面積の関数として以下の式で推定する($W(m) = 2.5A^{0.4}$, $D(m) = 0.6A^{0.4}$, A は集水面積(km²))。なお、RRIモデルは山地域の側方地中流を中間流と表面流の統合型モデルによって、平野部の鉛直浸透流をグリーンアンプトモデルによって算定する。ここでは山地域と平野部とを勾配0.05の閾値で区分し、それぞれ異なるパラメータセットを用いる。降雨は衛星観測雨量GSMaPと地上雨量とを合成したものを扱い、計算対象期間は7月27日から8月2日とする。

図1はカブール川全流域で計算した斜面部の最大浸水深を示している。とくに洪水被害の大きかったペンジャール盆地周辺に着目すると、領域AおよびBのカブール川本川沿いでは、MODISによる浸水推定域と計算によって推定された浸水域とが概ね一致していた。一方、エリアCやDは同モデルでは浸水の可能性を示唆しているのに対し、MODISの分析では浸水域と判別されていない。これは、MODISの撮影日が8月1日であり、降雨のピークから数日遅れていたことにも起因している。図2は建物被害調査の結果を示しており、エリアCやエリアDのカブール川支川沿いにおいて大きな洪水被害が出ていることが分かった。

キーワード 降雨流出、洪水氾濫、インダス川、パキスタン、降雨流出氾濫モデル

連絡先 〒305-8516 つくば市南原1-6 土木研究所 水災害・リスクマネジメント国際センター TEL 029-879-6779

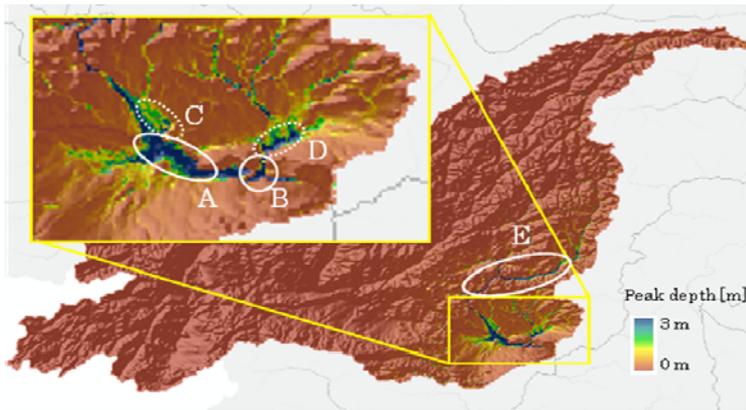


図1 カブール川流域における計算最大浸水深

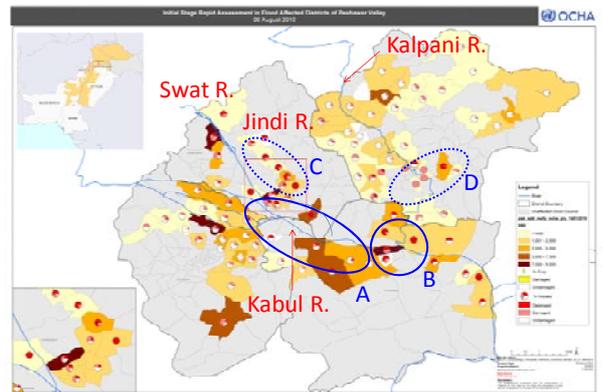


図2 カブール川流域下流部の家屋被害分布

4. インダス川全流域への展開

カブール川流域に適用した RRI モデルをインダス川全流域に展開する。計算期間は 2010 年 7 月 20 日から 9 月 20 日までの 60 日間とする。計算プログラムの並列化により、全流域の流出氾濫計算を約 1.5 日程度で実行できる。図 3 の結果は、計算期間中の最大浸水深の分布を示している。同図に示した衛星観測による浸水想定域からも分かるように、サッカル堰上流右岸側から約 100km 程度西側に離れたところにまで氾濫水が広がっている。この様子をモデルは妥当に捉えている。ただし、この計算では堤防の影響を考慮していないため、本川左岸側にも浸水域が広がっており、この現象は衛星画像では確認されていない。今後、堤防など河川構造物の影響を計算に反映させることが課題である。

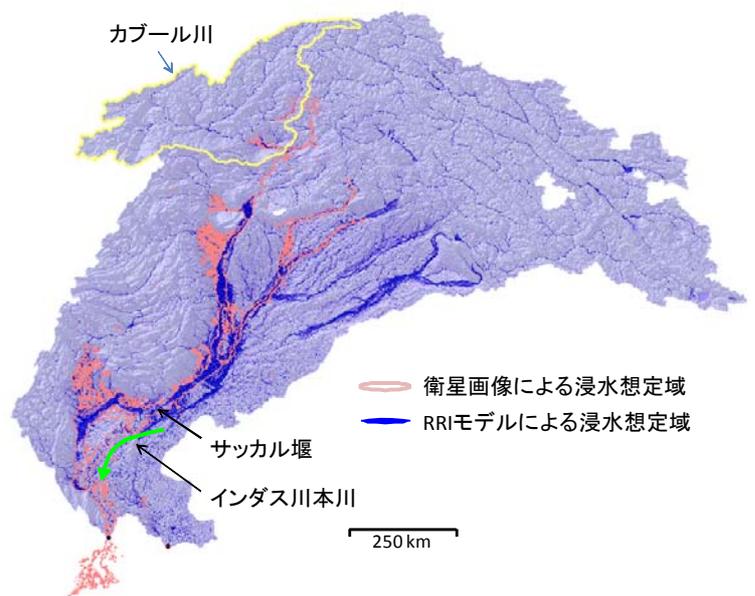


図3 RRI モデルによる浸水想定域と、7 月 28 日から 9 月 16 日までの衛星画像重ね合わせによって推定された浸水想定域 (UNOSAT 提供) との比較

4. おわりに

RRI モデルを用いてインダス川全流域の降雨流出氾濫現象を解析した。モデルの計算結果は、衛星リモートセンシングによって推定された浸水域を概ね再現することができた。また、衛星では捉えることが難しいフラッシュフラッドによる浸水域を同モデルで推定できることが分かった。このように、降雨流出から洪水氾濫までを追跡するモデルは、十分な観測情報を得られない地域での洪水予測やハザードマップの作成に今後応用できるものと考えている。

参考文献 1) Sayama et al.: Rainfall-runoff-inundation analysis of Pakistan Flood 2010 at the Kabul River Basin, Hydrological Science Journal, 2011, submitted.

2) 佐山ほか: 降雨流出氾濫モデルによるサイクロンルギス高潮氾濫シミュレーション, 水工学論文集, 2011.