

バングラデシュ・ガイバンダにおける ネスティングモデルを用いたハザードマップの作成

Flood Hazard Mapping Using A Nested Flood Simulation Model in Gaibandha District, Bangladesh

橋本 雅和・川池 健司・出口 知敬⁽¹⁾・
PAUL Arpan⁽²⁾・SALEHIN Mashfiqus⁽²⁾・中川 一

Masakazu HASHIMOTO, Kenji KAWAIKE, Tomonori DEGUCHI,
Arpan PAUL, Mashfiqus SALEHIN and Hajime NAKAGAWA

(1) 日鉄鉱コンサルタント株式会社

(2) バングラデシュ工科大学水・洪水管理研究所

(1)Nittetsu Mining Consultants Co.,Ltd

(2)Bangladesh University of Engineering and Technology, Institute of Water and Flood Management

Synopsis

The main objective of this study was to map the hazards of river flooding in the Jamuna River by using a two-dimensional flood simulation model. In order to perform a flooding analysis on the inter-district and district scales simultaneously, we developed a nested flood simulation model. We performed a year-round flooding simulation for 2007, and a flood hazard map was produced with the discharge data of 100 return periods through a flood frequency analysis. For the geological information, we used satellite elevation data of satellite radar topography mission (SRTM), and digital elevation models (DEMs) with 30- and 6-arc second grids were used for the inter-district and district-scale analyses, respectively. We successfully simulated the flooding for 2007, validating the extent of flooding using satellite images. In addition, a flood hazard map was produced with important infrastructures, such as embankments, roads, and hospitals, needing evacuation.

キーワード: ネスティングモデル, ハザードマップ, 洪水頻度解析, ガイバンダ

Keywords: Nested model, Hazard mapping, Frequency Analysis, Gaibandha District

1. はじめに

バングラデシュは典型的な洪水氾濫常習地であり、約 10 年に一度の間隔で大規模な洪水氾濫が発生している。特に、1987 年、1988 年の洪水氾濫の被害は甚大で、国の約 2/3 が冠水する程の浸水災害が起こった。当地域では様々なタイプの浸水災害が生じており、河川氾濫、フラッシュフラッド、都市氾濫、高潮氾濫などがあるが、本研究では河川氾濫によるリスクを対象にしている。バングラデシュ国内にはガンジス川、ジャムナ川、メグナ川の三つの大河川が流れており、北西部を流れるジャムナ川周辺地域の河川氾濫による被害が著しい。

河川氾濫で危惧される被害は、農業被害や水系感染症の蔓延などがあり、洪水氾濫リスクの評価に対する社会的な需要は高い。

防災対策を講じる場合、洪水ハザードマップの作製は有効なソフト対策の一つであるが、その作製方法は一律に決められたものではなく、想定される氾濫現象や住民の生活様式に合わせて、地図上に記載する情報を適宜選択する必要がある。つまり、数週間かけてゆっくりと浸水するような地域では、浸水深、流速に加えて、浸水期間に関する情報を加えるなど、社会学的な背景を考慮した上で、ニーズに合った情報を提供する

必要がある。

洪水ハザードマップ作製のためには数値解析を行う必要があるが、大陸巨大河川の洪水氾濫を対象にして解析を行う場合、研究対象地域は大規模にならざるを得ない一方で、住民側への出力に要求される解像度は都市であればどの流域であろうと詳細なものでなくてはならない。通常は必要解像度と計算コストを考慮して、対象領域、計算格子、タイムステップなど、計算負荷を左右する要因を適宜設定することになる。大陸河川の流域スケールであれば数 km の計算格子が用いられ、都市スケールでは数 m の計算格子が用いられる。ただし、発展途上国などのデータの整備が遅れている地域では、計算コストよりも使用可能なデータに依存して計算格子を決定するケースが多い。最近では、UAV を用いた簡易的な地形測量が行えたり、高精度の衛星標高データが有償で入手できるため、疎密な計算格子を組み合わせるネスティング計算法は、広域を対象としながらも必要な出力解像度を満足する、有効な解析法の一つと言える。

ジャムナ川の洪水氾濫については、関連する様々な既往研究があり、衛星画像を使った浸水マップ作成に関する研究 (Islam et al., 2010)、沿川の堤防の侵食メカニズムと水理学的特性に関する研究 (Nakagawa et al, 2013)、洪水氾濫による農業被害に関する研究 (Paul, 1984)、河道内の砂州の三次元構造に関する研究 (Best et al, 2003) などが挙げられる。しかし、洪水氾濫を数値モデルで解析した研究は少なく (橋本ら, 2015b)、バングラデシュ洪水予警報センター (Flood Forecasting and Warning Center) がバングラデシュ全土で洪水氾濫計算を行っているが、解像度が粗いため地方スケールのリスク評価であり、都市スケールのリスク評価までは行っていない。

よって、本研究では、バングラデシュ・ガイバンダを対象に、水深、流速、浸水期間を考慮した洪水ハザードマップを作製することを目的とする。

2. 研究方法

2.1 対象地域

本研究では、バングラデシュの北西部に位置するガイバンダ県を対象地域とした (Fig. 1)。当該地域は典型的な洪水氾濫常習地域であり、面積が 2,179.27km² で、県内には 7 つの市があり (Fulchhari 市, Gaibandha Sadar 市, Gobindaganj 市, Palashbari 市, Sadullapur 市, Saghata 市, Sundarganj 市)、人口は 2,379,255 人 (Bangladesh Bureau of Statistics, 2012) である (Table 1)。

浸水はほぼ毎年生じているが、最近の主な浸水被害としては、2015 年 8 月に Gobindaganj 市, Sundarganj 市, Palashbari 市で破堤氾濫が生じ、一時的に住民 150,000



Fig. 1 Map of Gaibandha.
(Source: <http://mapofbangladesh.blogspot.jp/2011/09/gaibandha-district.html>)

Table 1 Population of each Upazilla in Gaibandha District.
Source: Bangladesh Bureau of Statistics (2012)

Name of Upazila	Population
Fulchhari	165,334
Gaibandha Sadar	437,268
Gobindaganj	514,696
Palashbari	244,792
Sadullapur	287,426
Sahgata	267,819
Sundarganj	461,920

人が孤立状態になった上、農業・漁業関係者が被害を受けた。

2.2 氾濫モデル

本研究では、河道の流れと氾濫流を一体に平面二次元モデルで解析した。大グリッドを用いる領域 (以下「大領域」)、小グリッドを用いる領域 (以下「小領域」) とともに、以下の基礎式を用いる (式 (1), (2))。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = q_r - q_e - q_i \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial uM}{\partial x} + \frac{\partial vM}{\partial y} =$$

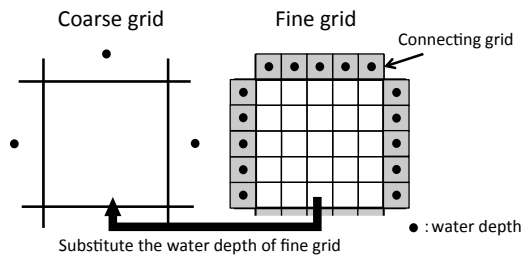


Fig. 2 Simplified figure of the parameter fitting for a nested model.

$$-\frac{gh}{\partial x} \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{gn^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (2a)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial uN}{\partial x} + \frac{\partial vN}{\partial y} =$$

$$-\frac{gh}{\partial y} \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{gn^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (2b)$$

ここで、 h :水深 (m), H : 水位 (m), M, N : x, y 方向の単位幅あたりの流量フラックス (m^2/s), u, v : x, y 方向の流速 (m/s), q_e : 単位面積あたりの蒸発散量 (m/s), q_i : 単位面積あたりの浸透量 (m/s), q_r : 降雨量 (m/s) である。数値計算は岩佐ら (1980) の計算方法を採用しており、Leap-frog 法を用いて陽的に進める。

2.3 ネスティング計算法

本手法は武田ら (2009) による h-VA 手法を用いたネスティング計算法を参考にしたもので、大領域で計算された水深を小領域の周りに 1 グリッド余分に用意されたグリッドに与え、それぞれのグリッド間で小領域境界での流量の計算を行う。さらに、小領域で計算された流量を総和し、大領域の格子幅で除すことで大領域へ流量を反映させた。こちらの手法においても水位の受渡はタイムステップ毎に行った。なお、大領域のネスティングされた領域における水位は空間平均したものを大領域の計算結果と置き換えている (橋本ら, 2015a)。計算方法を示した簡略図を Fig. 2 に示す。

(1) タイムステップの取り扱い

大・小両領域の計算時間間隔とそれぞれのタイミングで出力される水深、流速の模式図を Fig. 3 に示す。大領域と小領域の計算時間間隔 Δt の比は、各計算領域におけるクーラン数が同じになるように、格子幅 Δx を用いて、以下の様に与えた (二瓶ら, 2003)。

$$\frac{\Delta x_1}{\Delta x_2} = \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} \quad (3)$$

ここで、添字 1, 2 は大領域、小領域における値を示す。本研究では、その比が 1:5 になるように格子幅を設定している (橋本ら, 2016)。図中の h_1, h_2, v_1, v_2 はそれぞれ大領域、小領域の水深、流速を表しており、小領域の結果が大領域に返される場合は、それぞれの物理量

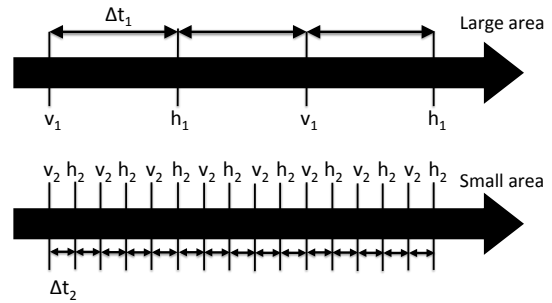


Fig. 3 Simplified figure of the parameter fitting for the time step.

が同じタイミングで出力されるときに計算結果が受け渡される。

(2) 蒸発散量の計算

蒸発散量の計算にはソーンズウェイト法 (Thornthwaite, 1948) を用いる。本手法によって求められる可能日蒸発散量を式 (4), (5) に示す。

$$E_p = 0.553 D_0 \left[\frac{10T_i}{J} \right]^a, \quad J = \sum_{i=1}^{12} \left[\frac{T_i}{5} \right]^{1.514} \quad (4)$$

$$a = 6.75 \times 10^{-7} J^3 - 7.71 \times 10^{-5} J^2 + 1.79 \times 10^{-2} J + 0.492 \quad (5)$$

ここで E_p は i 月の平均蒸発散能力 (mm/day), T_i は i 月の月平均気温, D_0 (hr/12hr) は月平均可照時間をそれぞれ示す。月平均気温はバングラデシュ気象局の Rangpur 地区 (Fig. 1) における観測地を用いた。本手法は、湿潤地域では過大評価することが指摘されているが、対象領域における蒸発散量の気温変化を考慮するために適用した。計算された E_p は単位を m/s に変換し、 q_e として連続式中に考慮する。参考までに、計算された年平均可能日蒸発散量は 4.15mm/day であった。

(3) 浸透量の計算

浸透の計算には Green Ampt モデルを用いる。本手法によって求められる浸透量を式 (6) に示す。

$$f = K_s \left[1 + \frac{S_f(\phi - \theta_i)}{F} \right] \quad (6)$$

ここで f は浸透能 (m/s), F は累積浸透量 (m), S_f は湿潤前線における吸引圧 (m), ϕ は土壌の空隙率, θ_i は初期の体積含水率, K_s は鉛直方向の飽和透水係数 (m/s) をそれぞれ示す。上式において、地表面に浸水が生じていない場合には累積浸透量水分が蒸発することを考慮している。計算された f は q_i として連続式中に考慮する。

前節で述べた通り、大領域と小領域の浸水面積が異なるために、蒸発散・浸透による水収支を合わせるための取り扱いが必要である。本研究では、小領域で計算される水面積に重きを置き、水深の置き換えを行うことで、大領域においても蒸発散・浸透が考慮される

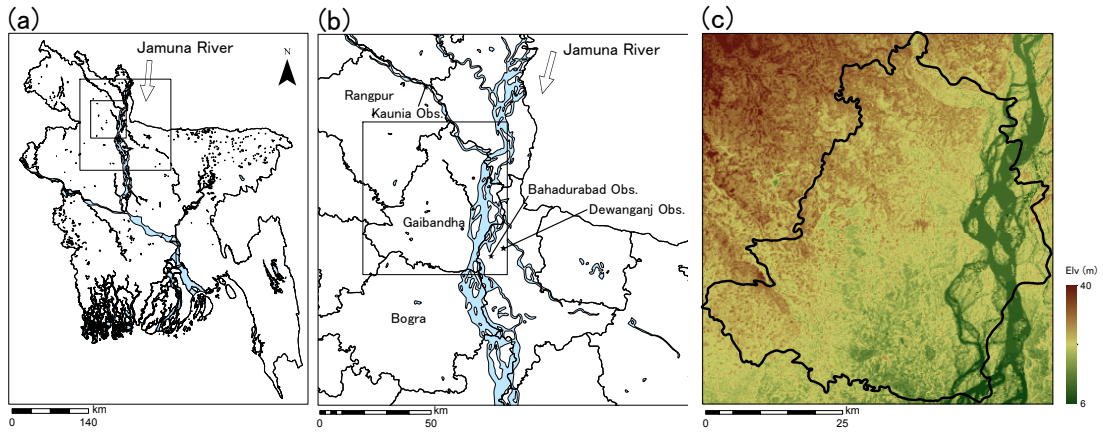


Fig. 4 Tagret area. (a) Map of Bangladesh (the rectangle located in the central-western section indicates the large calculation area); (b) Large calculation area (the rectangle located in the central-west part section, indicates the small calculation area); and (c) small calculation area.

こととした。

2.4 計算条件

バングラデシュ北西部のジャムナ川周辺の地域を対象として、2007年1月1日から12月31日までの通年の洪水氾濫計算を行った (Fig. 4 (a),(b)). また、ネスティング対象地域は、浸水常習地であるガイバンダ (Fig. 4 (c)) を選んだ。当地域はジャムナ川の支流があり、雨期に本川から遡上する流れによって浸水する。

標高は衛星標高データ (SRTM) を用い、大領域は空間解像度 30 秒 (930 m)、小領域は 6 秒 (約 186m) とした。6 秒グリッドについては 3 秒グリッドとして米国地質調査所 (USGS) より発行されているデータを逆距離加重法により補間して作成した。大領域は 180×180 の 32,400 グリッド、小領域は 345×365 の 125,925 グリッドで計算を行った。なお、堤防高は 2.0m を一様に仮定してグリッド間に考慮し、粗度係数は計算領域全体に 0.030 を用いた。

ジャムナ川の河川流量はバングラデシュ水資源省 (Bangladesh Water Development Board: 以下 BWDB) により Bahadurabad 観測所 (大計算領域ほぼ中央: Fig. 4 (b)) で得られた日平均流量データから支流の Teesta 川の流量を差し引いて上流端に与えた。計算に用いた 2007 年のジャムナ川の日平均流量を Fig. 5 に示す。

7月28日 (208日目) が洪水のピークであり、9月9日 (251日目) に二度目のピークがあるのが特徴である。支流の Teesta 川の河川流量は Kaunia 観測所 (計算領域左上: Fig. 4 (b)) で得られた水位データを等流公式により流量に変換し、上流端 (計算領域左上) に与えた。対象領域内の降水データは BWDB により Dewanganj 観測所 (大計算領域ほぼ中央: Fig. 4 (b)) で得られた観測雨量を用い、計算領域に一様に考慮した。シミュレーショ

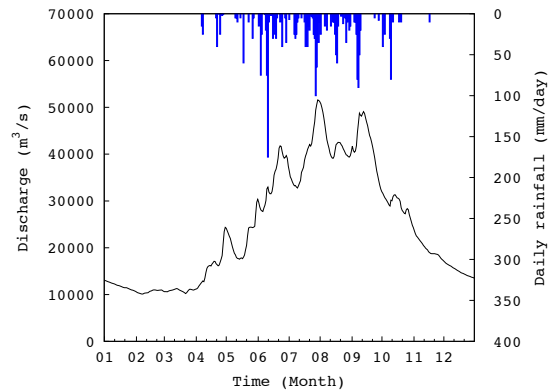


Fig. 5 Discharge of the Jamuna River and Rainfall data observed in Dewanganj in 2007.

ンの浸水域再現精度の検証として、AquaMODIS による 2007 年 8 月 3 日の衛星画像を用いた。

3. ネスティング計算の結果・検証

3.1 浸水域の比較

計算結果と衛星画像の比較を Fig. 6 に示す。計算結果は計算開始 214 日後を表しており、衛星画像は同時期に撮影されたものである。比較より、計算結果は浸水域を大方良好に再現できていることがわかる。しかし、いくつかの部分で過大・過小評価が見られたため、以下に考察を加える。

まず、図中の (A) の部分では過小評価が見られた。これは降雨の考慮方法が影響したものと考えられる。本研究では Dewanganj 観測所で観測された雨量を対象領域全体で均一に考慮しており、過小評価はその結果と考えられる。Meghalaya 山脈の南部ではその影響が特

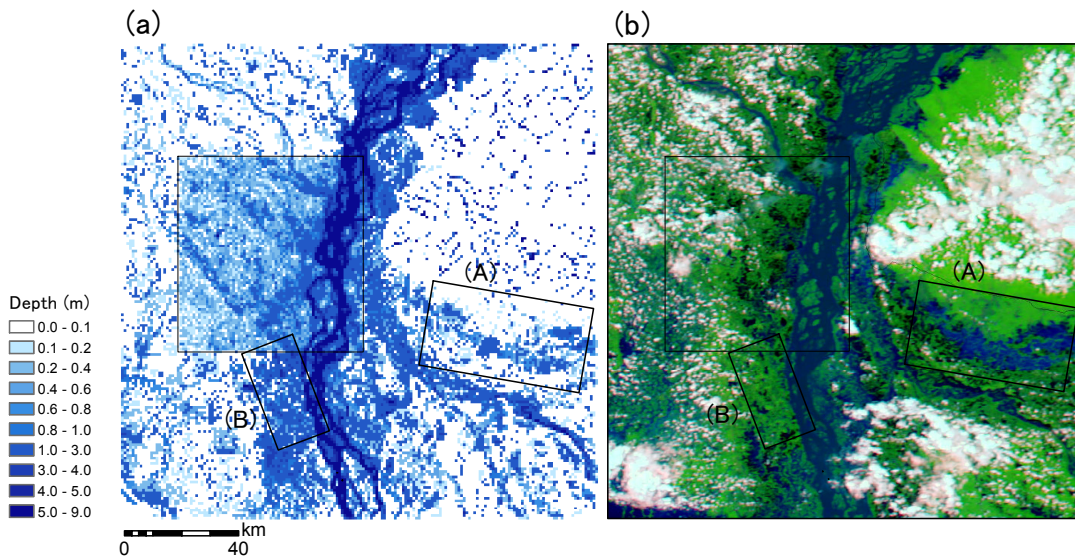


Fig. 6 Validation of the simulation result using satellite image on Aug. 3 2007 for the case of large calculation area. (a) Simulation result. (b) Satellite image.

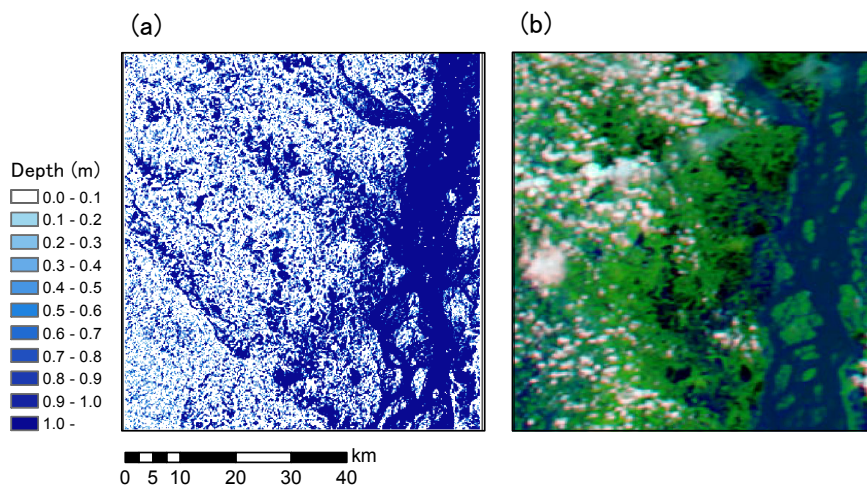


Fig. 7 Validation of the simulation result using satellite image on Aug. 3 2007 for the case of small calculation area. (a) Simulation result. (b) Satellite image.

に顕著であった。

次に、図中の (B) の部分では過大評価が見られた。こちらの差異については、堤防と河床高の考慮方法が影響したものと考えられる。本研究では堤防高を一律に 2.0m としており、河床高は USGS より提供されている SRTM30 を加工せず、固定床として用いた。しかし、実際には堤防高は 2.0m 以上の場所もあり、河床は一年を通して変化するため (Ashworth et al., 2000)、これらが原因となって過大評価になったと考えられる。また、2014 年に行った現地観測では破堤箇所も見られたため、今後の研究で考慮する必要がある。

ネスティング領域の計算結果と衛星画像の比較を Fig. 7 に示す。こちらも浸水域を良好に再現しており、細か

い格子を使ったことで浸水域がより詳細に再現されていることがわかる。さほど大きい差異は見られないが、小規模な水たまり程度の浸水部分で差異が見られるため、今後の研究では小河川や排水路の考慮が必要である。計算領域左側で計算結果に過大評価が見られる点については、降雨を一樣に考慮した結果と考えられる。

4. 洪水頻度解析

解析に用いた年最大日平均流量は BWDB の Bahadurabad 観測所で、1956 年から 2011 年までの 56 年間に観測されたデータを用いた (Fig. 8)。本研究で用いたデータの中での最大値は 1998 年の $102,535\text{m}^3/\text{s}$ で、

Table 2 Peak Mean Daily Discharge in the case of each return period.

Return Period (years)	2.33	10	20	50	100
Peak Discharge (m ³ /day)	66553.02	82594.26	88759.18	96251.77	101544.2

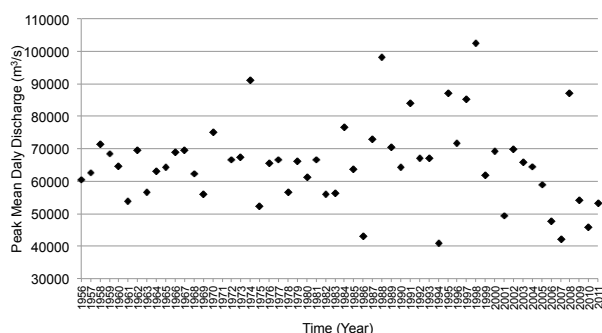


Fig. 8 Peak Mean Daily Discharge observed from 1956 to 2011.

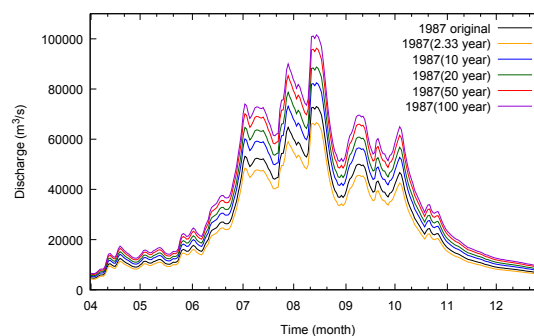


Fig. 9 Original and adjusted Hydrograph of 1987 in the case of 2.33, 10, 20, 50 and 100 year return period.

次いで 1988 年の 98,300m³/s であった。いずれの年も、洪水氾濫被害が著しかった年であり、多くの研究がなされている (例えば Chowdhury, 2000)。

最適確率分布は、5 種類の確率分布モデル (対数正規分布, 3 変数対数正規分布, ピアソン III 型, 対数ピアソン III 型, 一般極値分布) の中から、P-P プロットによって適合度評価を行い、最も適合度の高い関数として、ピアソン III 型を採用した。2.33 年, 10 年, 20 年, 50 年, 100 年確率に相当する年最大日平均流量を **Table 2** に示す。

次に、時系列データを作成するため、顕著な浸水被害をもたらした 1987 年, 1988 年, 1998 年, 2004 年のハイドログラフに着目し、それぞれのピーク流量が 10 年確率に相当する流量に一致するように適当な倍率をかけて引き伸ばし、それぞれのハイドログラフで洪水氾濫計算を行い、ネスティング領域内での浸水面積, 浸水体積, 浸水深の変化を確認した。結果として、1987 年のハイドログラフで最悪のシナリオが確認できたため、1987 年のハイドログラフを採用した。1987 年で浸水規模が大きくなった理由としては、ピーク流量が数日間連続したケースであったことが影響していると考えられる。

その後、1987 年のハイドログラフを **Table 2** のそれぞれのピーク流量に合わせて引き伸ばし、確率年毎のハイドログラフを作成した (**Fig. 9**)。

5. 洪水ハザードマッピング

5.1 浸水深・流速の洪水ハザードマップ

まず、2.33 年と 100 年確率の場合の浸水域および高流速域 (流速が 0.5m/s 以上となる場所) を示した計算

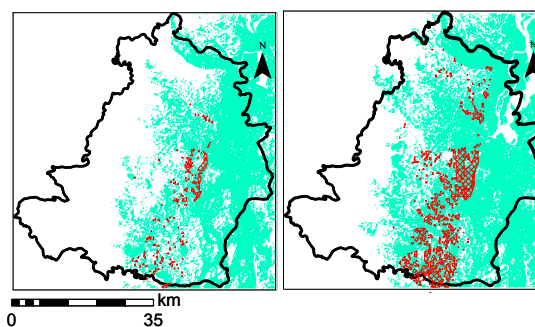


Fig. 10 Comparison between the flood case of 2.33 and 100 year return period (blue part indicates flood extent, red parts indicate the high flood flow area (>0.5m/s)).

結果を **Fig. 10** に示す。ここで、高流速域は堤内地に限定して色付けしている。図より 100 年確率の場合で、浸水域が大幅に拡大していることがわかる。また、歩行困難となる高流速域も拡大しており、断続的であったものが連続的になることから、氾濫流によるハザードが増していることがわかる。高流速域は堤防沿いに発生しており、流下するに従って広がっていく特徴が見られた。本研究では破堤を考慮していないため、今後は破堤を考慮した場合の浸水状況を確認する必要がある。

上記の情報とインフラ情報を重ね合わせた地図を **Fig. 11** に示す。地図上には主要道路, 堤防や病院などの、浸水時に重要な施設を記した。地図より、浸水の影響を受けにくい道路が判別されるため、救援物資の輸送などに有用な情報となることが考えられる。今後は、シェルターやモスクなどの避難場所になりうる施設の情報を追加することが課題である。

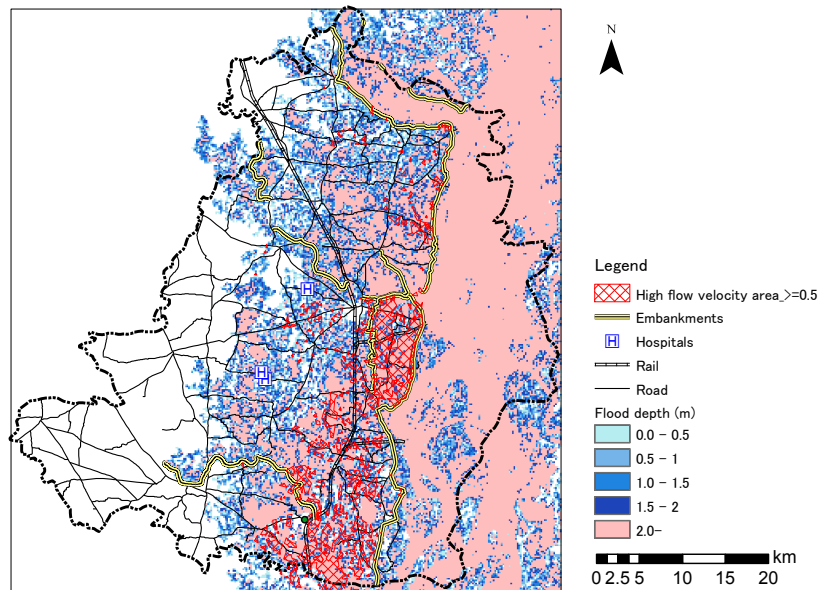


Fig. 11 Flood Hazard Map focusing on the flood depth and velocity.

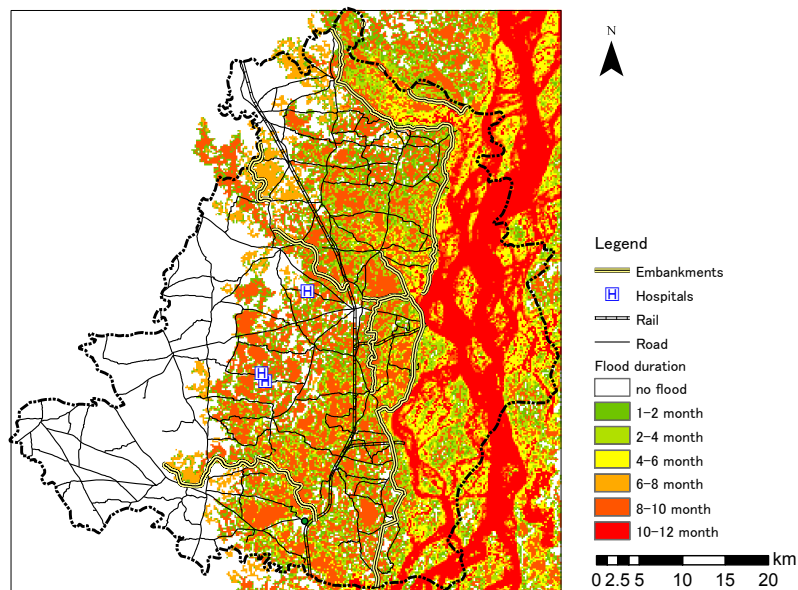


Fig. 12 Flood Hazard Map focusing on the flood duration.

5.2 浸水期間の洪水ハザードマップ

本研究では、浸水が長期化することによるハザードを考慮するため、想定される浸水期間を示したマップを作製した (Fig. 12). 図は 100 年確率の洪水氾濫が生じた場合の一年間の浸水期間を表している。堤内地のほとんどが 8-10ヶ月の浸水に見舞われることがわかる。バングラデシュにおける浸水を原因とした死者数は、多くが餓死によるとの報告があり (土木研究所, 2007), 長期的に浸水する場所では、農作物が被害を受ける上、救援物資の輸送も滞ることが考えられる。また、氾濫原

の住民は長期化する浸水により、移住の判断を迫られることもあることから (Fujita et al., 2016), 浸水期間に関する情報を提供することで、被災し難い土地を選ぶ際の有用な情報となり得る。

一方で、長期間の浸水をモデル化する場合には小水路などを細かく考慮する必要がある上、浸透、蒸発の詳細なモデル化も必要であり、時間軸での予測精度を高めることが、今後の課題である。

6. おわりに

本研究では、ネスティング計算法を適用した洪水氾濫モデルを用いて、バングラデシュ・ガイバンダにおける洪水ハザードマップを作成した。また、当該地では長期的な浸水が常習化しているため、浸水深、流速に加え、浸水期間を対象にしたマッピングを行った。

今後の研究では、数値解析の課題として、1) 河床の実測データを用いた解析、2) 計算対象領域内の100年確率の降雨を考慮した解析などが挙げられる。本研究では河床データにSRTM30を用いており、河川水位および浸水範囲を過大評価している可能性があるため、河床の実測データを用いることでより高精度な予測を行う必要がある。また、解析期間が長期間であることから、降雨の影響を考慮した解析を行う必要がある。

また、ハザードマップ作製の課題として、1) 地域住民、地方行政、NGOのニーズに合った適切な情報を記載したマップの作成、2) 市町村単位でのマップ作成、3) 砂州の安定性に着目したマップの作成などが挙げられる。本研究ではDistrictレベルでのマップを作製したが、より下位での行政区を対象にしたハザードマップを作製する必要がある。

謝辞

本研究は地球規模課題対応国際科学技術協力事業(SATREPS)(代表研究者: 中川一)の支援を受けました。また、バングラデシュでの現地調査ではバングラデシュ工科大学のMunsur Rahman教授にご協力をいただきました。記して謝意を表します。

参考文献

岩佐義朗・井上和也・水鳥雅文(1980): 氾濫水の水理の数値解析法, 京都大学防災研究所年報, 第23号B-2, pp.305-317.

佐藤慶太・二瓶泰雄(2005): 河川洪水流シミュレーションに対するネスティング計算法の適用, 水工学論文集, Vol.49, pp.679-684.

武田誠・松尾直規・Parameshor Pokharel(2009): h-VA 氾濫解析法を用いたネスティングモデルに関する検討, 水工学論文集, Vol.53, pp.835-840.

独立行政法人土木研究所(2007): バングラデシュにおける水災害に関する要因分析, 土木研究所資料, 第4052号.

二瓶泰雄・佐藤慶太・灘岡和夫・熊野良子・西村司(2003): 沿岸海水流動シミュレーションに対する新しい多重ネスティング計算法の開発, 土木学会論文集, Vol.740/II-64, pp.171-183.

橋本雅和・川池健司・中川一(2015a): ドライベッドを伴う洪水氾濫シミュレーションにおけるネスティン

グ計算法の適用, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.71, No.4, pp.I1459-I1464.

橋本雅和・川池健司・中川一(2015b): ネスティングモデルを用いたバングラデシュ・ジャムナ川における洪水氾濫リスク評価, 京都大学防災研究所年報, 第58号B, pp.377-385.

橋本雅和・川池健司・中川一(2016): 洪水氾濫解析における非構造格子を用いたネスティング計算法の適用, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.72, No.4, pp.I319-I324.

Ashworth P. J., Best J. L., Roden J. E., Bristow C. S. and Klaassen G. J. (2000): Morphological evolution and dynamics of a large, sand braid-bar, Jamuna River, Bangladesh, *Sedimentology*, Vol. 47, No. 3, pp. 533-555.

Bangladesh Bureau of Statistics(2012): Community Report Gaibandha Zila June 2012, 閲覧日 2013年3月18日.

Best J. L., Ashworth P. J., Bristow C. S. and Roden J. (2003): Three-dimensional sedimentary architecture of a large, mid-channel sand braid bar, *Journal of Sedimentary Research*, Vol. 73, No.4, pp.516-530.

Chowdfury M. R. (2000): An assessment of flood forecasting in Bangladesh: The experience of the 1998 flood, *Natural Hazards*, Vol. 22, No. 2, pp. 139-163.

Flood Forecasting and Warning Center: Homepage, <http://www.ffwc.gov.bd>, 2016年6月13日閲覧.

Fujita K., Parvin A. G. and Show R.(2016): Migration and Flood in Char Areas, Pabna, Bangladesh, Conference proceedings of International Conference on Sustainable Development, University of Liberal Arts Bangladesh, Dhaka, Feb 4-5.

Islam A. S., Bala S. K. and Haque M. A. (2010): Flood inundation map of Bangladesh using MODIS time-series images, *Journal of Flood Risk Management*, Vol.3, No.3, pp.210-222.

Nakagawa H., Zhang H., Baba Y., Kawaike K., and Teraguchi H. (2013): Hydraulic characteristics of typical bank-protection works along the Brahmaputra/Jamuna River, Bangladesh, *Journal of Flood Risk Management*, Vol.6, No.4, pp.345-359.

Paul B. K. (1984): Perception of and agricultural adjustment to floods in Jamuna floodplain, *Human ecology*, Vol.12, No.1, pp.3-19.

Thornthwaite C. W. (1948): An approach toward a rational classification of climate, *Geographical Review*, Vol.38, No.1, pp.55-94.

(論文受理日: 2016年6月11日)