

Huong川流域におけるダムの治水効果に関する研究

Study on the effect of dams into the Huong river basin under the flood control

都市人間環境学専攻 17N3100017F グェン ティ カン ホア
 Nguyen Thi Khanh HOA

Key Words : Huong River, Thua Thien-Hue, RRI Model, inundation

1. はじめに

ベトナム中部に位置するThua Thien-Hue省(図-1)を流れるHuong川は、本省において最長の河川である。河川の全長及び流域面積は、それぞれ、約104 km 及び約2830 km²であり、Ta Trach川、Huu Trach川及びBo川の3つの支川が存在する。また、Thua Thien-Hue省は、熱帯モンスーン地域に属している。Hue省の年平均降水量は、約3500 mm¹⁾と、日本と比較し約2倍の降水量となっている。図-2にHue省における1965年から2017年の月別平均降水量を示す。この図より、乾期である1月から8月は雨は多く降らず、雨期である9月から12月に降雨が集中していることが分かる。雨季には台風による洪水が毎年のように起きており、多くの人的・経済的被害が発生している。また、乾季には雨が少なく、河川水の減少による早魃の危険および海水の河川への浸入による塩害が起こる危険がある。

台風や豪雨による洪水被害を防ぐために、Huong川流域にはダムが3つ建設されている。これら3つのダム管理は、下流の洪水防止にとって非常に重要であるが、ダムの放水量をコントロールする上で重要な水文情報が不足している。例えば、河川の水位は流域内に11箇所の観測所があるが、その中で1箇所のみにしか水位流量曲線が作られていない。このような要因より豪雨時においてダムからの放水量についての連携が取れていないのが現状である。

本研究では、下流域の洪水抑制のために、上流から下流までの河川流量を管理するモデルを構築し、同モデルによる計算値と実現値を比較することによりモデルの整合性の確認を行った。また、2017年に起きた降雨イベントに対してダムがある場合とない場合における降雨流出計算及び河道計算を行うことで、下流における河川水位の低減効果を示し、さらに、氾濫計算によって家屋の浸水数を比較することにより、ダムによる洪水抑制効果の検証を行った。

2. 研究方法

本研究では、Huong川流域において、それぞれのダムより上流部を上流域、ダムから河口までの流域を下流域として降雨流出から浸水域まで一体に計算できるRRI(Rainfall-Ranoff-Inundation)モデル²⁾を用いて計算を行った。RRIモデルは、2次元モデルであり、降雨流出解

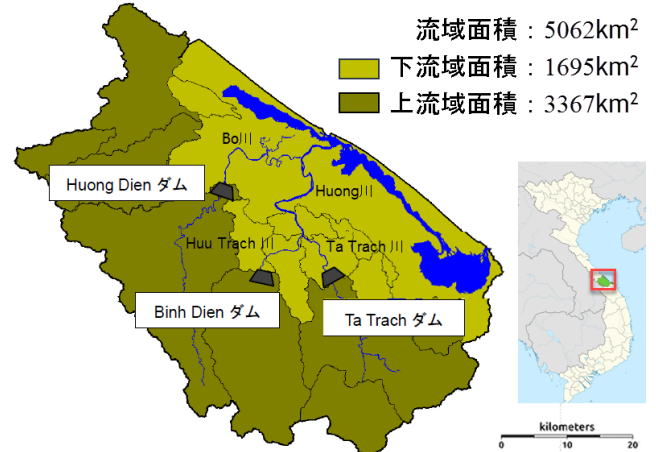


図-1 Thua Thien-Hue 省の地図

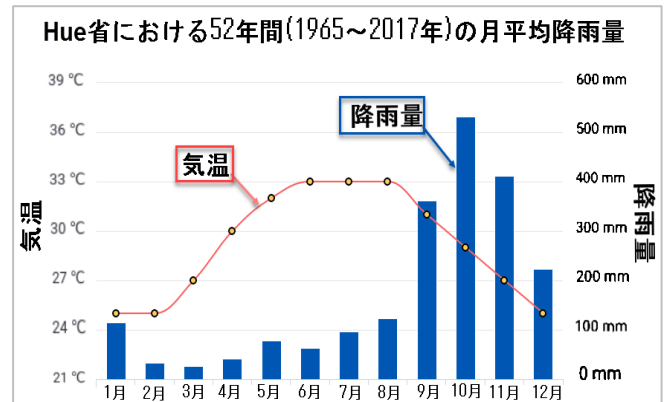


図-2 ベトナムの Thua Thien-Hue 省の月別平均降水量 (1965年~2017年)

析、河川流量及び氾濫のシミュレーションが可能である。RRIモデルの基礎式を下記に示す。連続式が(1a)、2次元の浅水方程式を式(1b)および式(1c)に示す。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = r - f \quad (1a)$$

$$\frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial u q_x}{\partial x} + \frac{\partial v q_y}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_x}{\rho_w} \quad (1b)$$

$$\frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial u q_y}{\partial x} + \frac{\partial v q_y}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_y}{\rho_w} \quad (1c)$$

ここに、 h (m): 水深, u, v : x, y 方向の流速, q_x, q_y : x, y 方向の流量フラックス($\Rightarrow uh, \Rightarrow vh$), H : 基準面から自由水面までの高さ, τ_x, τ_y : x, y 方向のせん断応力, ρ :

表-1 収集した水文・気象データの一覧

洪水発生年月	雨量観測所数	ダムデータ	備考
1999年11月	4	なし	洪水痕跡データあり
2009年9月	10	なし	洪水痕跡データあり
2013年11月	9	Binh Dien ダム Huong Dien ダム	ダムデータあり
2017年11月	11	Binh Dien ダム Huong Dien ダム Ta Trach ダム	洪水痕跡データあり; ダムデータあり

水の密度である。(1b), (1c)式の右辺第二項は, Manning 則を用いて次に示す(2a), (2b)式のように算定する.

$$\frac{\tau_x}{\rho_w} = \frac{gn^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (2a) \quad \frac{\tau_y}{\rho_w} = \frac{gn^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (2b)$$

ここに, n : 粗度係数であり, ここでは $n = 0.06m^{1/3}s$ とした. RRI モデルにおける拡散波近似は, 式(1b)および式(1c)の慣性項(左辺の項)が十分に小さいとして無視することで行う. さらに, x 方向および y 方向に分け, 式(1b)および式(1c)の u と v をそれぞれ無視することにより, 以下の式を得る.

$$q_x = -\frac{1}{n} h^{\frac{5}{3}} \sqrt{\left| \frac{\partial H}{\partial x} \right|} \operatorname{sgn} \left(\frac{\partial H}{\partial x} \right) \quad (3a)$$

$$q_y = -\frac{1}{n} h^{\frac{5}{3}} \sqrt{\left| \frac{\partial H}{\partial y} \right|} \operatorname{sgn} \left(\frac{\partial H}{\partial y} \right) \quad (3b)$$

3. 計算結果

本研究では, Huong川流域における洪水計算を行うために, 2017年11月台風Damrey発生時の降雨データを用いた. この降雨イベントでは, 総降雨量2726mm, 市内は4.7mの浸水が起き, 死者4人と大きな被害であった. フェ省における過去の大きな洪水イベントを表-1に示す. 1999年の時には雨量計が4つのみであり, また3つのダムの建設は2009年以降である. 現在では11箇所の雨量計が設置されており, 水文データが以前より充実しており, また, ダムの効果を検証するため, 2017年の降雨イベントを用いた.

(1) 上流域を対象とした流出計算結果

上流域において RRI モデルを用いて, 上流域からダムへの流入量を計算を行った. モデル作成に当たり, DEM (数値標高モデル), DIR (流れの方向性) と HydroSHEDS

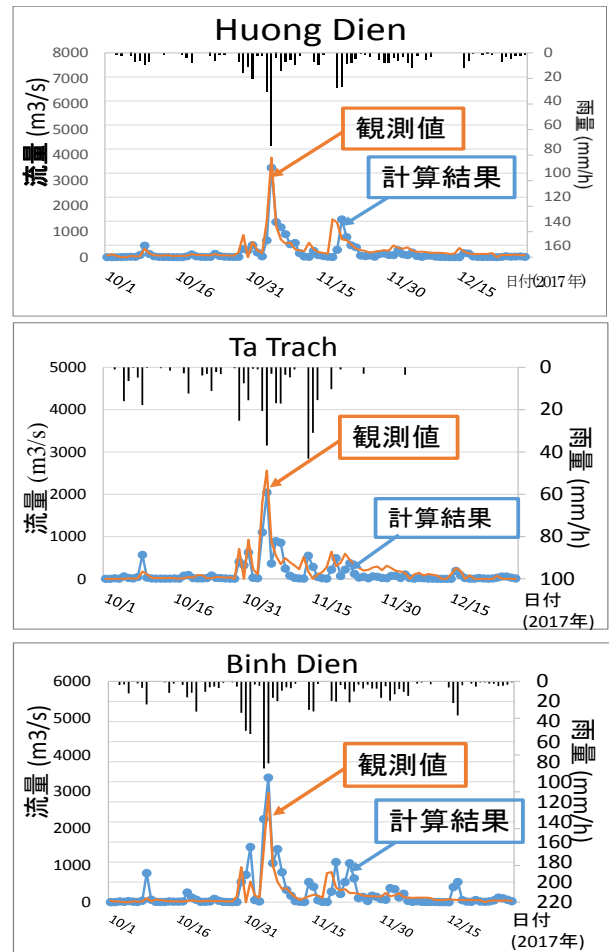


図-3 対象流域の上流域におけるそれぞれのダム流入量の計算値と実測値

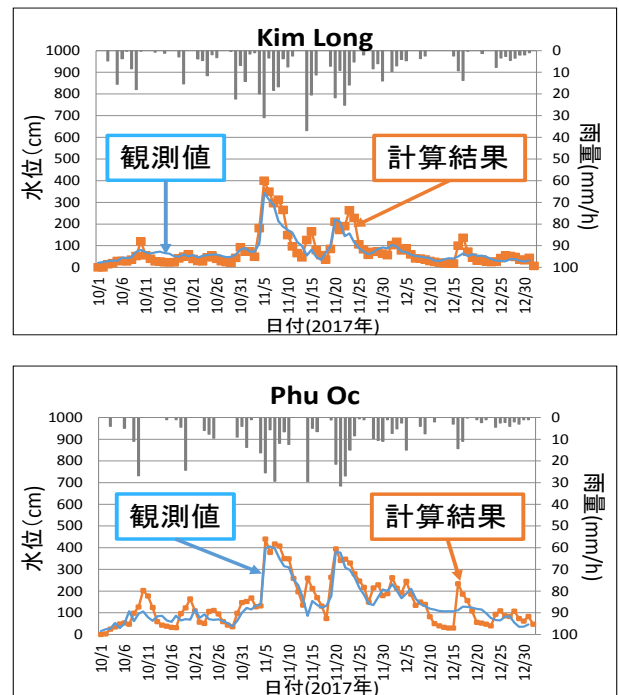


図-4 Kim Long 及 Phu Oc 水位観測所における水位計算結果と当該地域における実測値

30sによるACC(累積流量)を使用した。上流における流入量を、下流域における上流端の境界条件とすることにより下流域の河道計算及び氾濫計算を行なう。上流域の計算面積は約3357km²である。Bo川、Huu Trach川、Ta Trach川の3つの河川及び3つのダムHuong Dien, Binh Dien, Ta Trach 計算の対象とした。計算を行う上で用いたデータは、3か月間の1時間ごとの降水データを用いて計算を行った。上流域における各ダムの流入量と計算値を比較した結果を図-3に示す。この結果より観測値と計算値の立ち上がりからピーク値及び低減期においても一致していることが分かる。これは上流域におけるダム前流入を計算した。3ダムでの流入水量を

比較したグラフによると、計算流量はHuong DienとTa Trachで実測値より約500m³/s低いが、流量の立ち上がりからピーク及び低減部においてが波形は良く合っていることがわかる。Binh Dienでは、グラフの形状はさまざまな特性を反映したものであるが、流量のピーク値は計算値の方が実測値よりも高い。またモデルの整合性を確認するために、2地点における水位の実測値及び計算値を比較した。上流からダムの流量を計算したものを下流の計算結果の図-4に示す。この結果よりどちらの地点においても、良好に再現できていることがわかる。

(2) 下流域を対象とした流出計算の結果

下流域計算するエリアはBo川、Huong川、Huu Trach川であり、流域面積は1695km²である。氾濫計算の結果を図-5に示す。2つ観測地点の名前はKim LongとPhu Ocである。Huong川の下流域には、洪水痕跡を残すための洪水警報タワーがあり、54基の塔が現在設置してある。そこで計算結果ならびに洪水警報タワーによって観測された実測値について検討を行った。洪水警報タワー1はPhu Oc観測場の近くにあり、住民が多い所である。また、洪水警報タワー2は、Hue王宮も近く住民が多いため、氾濫が発生した場合に最も深刻な場所である。

図-6に河道計算及び氾濫計算した結果である。青線は計算結果であり、赤線は洪水痕跡におけるピーク値である。この結果より、氾濫におけるピーク水位値は、計算値と実測値を概ね再現できていることが分かる。これは、他のタワーでの実測値でも同様であった。

上記結果より、上流と下流におけるHuong川の計算問題を解決するためのモデルの構築ができたと考えられる。

(3) ダムの有無が河川流量に及ぼす影響

ダムの有無による下流域の河川流量に対して低減効果の検証を行った結果を図-7に示す。検証を行った箇所は、Kim LongとPhu Ocである。ダムが有る場合の計算



図-5 Huong川流域の氾濫エリア

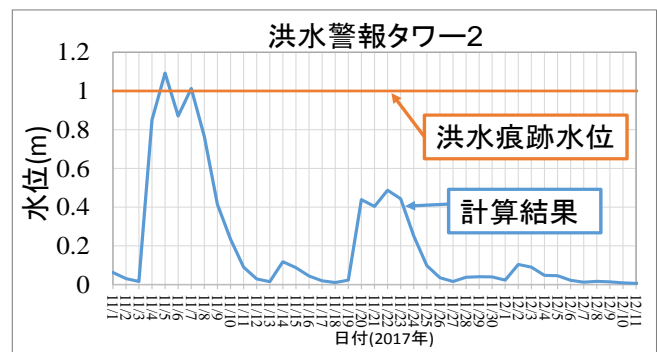
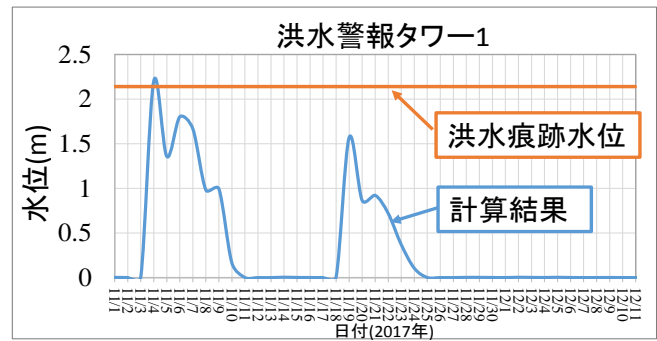


図-6 洪水警報タワーの痕跡水位と計算値の比較

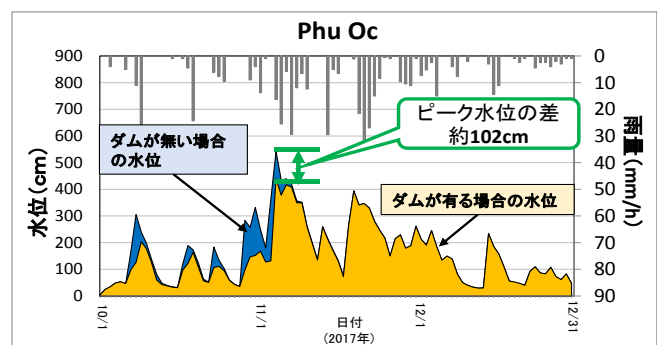
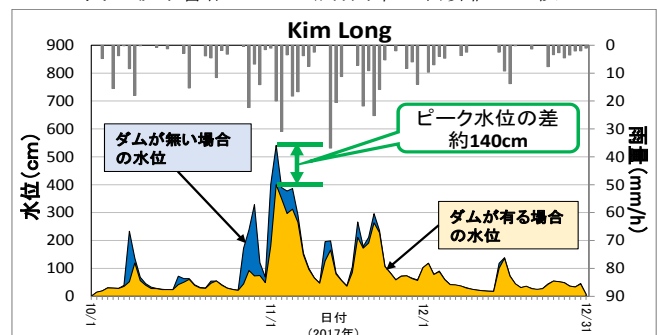


図-7 Kim Long, Phu Ocにおけるダムの有無が洪水に与える影響

は、実際のダムデータの用いて行なった。図より、ダムが「有る場合」と「無い場合」で比較すると、ダムがない場合の方が、水位が高くなっている。Kim Longではダムがある場合とない場合のピーク水位の差は約2 mであり、ダムが無いことによって氾濫発生水位に達することが分かる。またPhu Ocにおいて、水位は示す4 mになり、ダムが無い場合は水位が5 mとなる。氾濫発生水位は4.5mなので、ダムがなければより深刻な浸水被害を起こすことを意味する。

各地域の人口データとともに、「ダムあり」と「ダムなし」の2つのケースにおける浸水家屋数を比較し、Huong川下流域におけるダムの洪水抑制の効果の検証を行った。ダムがある場合とない場合の浸水家屋数の割合を示したものが図-7、図-8である。浸水家屋数の割合が最も減少した地域はPhu Locでは、ダムがある場合では、氾濫計算においてダムが無い場合約80%浸水するか、ダムが有る場合10%の家が浸水しないことか分かった。また、住民の多く王宮のあるHue townでは、ダムがない場合、浸水家屋数は86%程度を占めていたが、ダムがある場合では20%程度となり、66%程度の減少した。Hue省全体では、ダムの効果により、浸水家屋数の割合を平均すると約60%程度の減少効果があることがわかった。このことより、Huong川流域での洪水を防ぐためにBinh Dien, Huong Dien, Ta Trachにダムを建設することの重要性が分かる。

4. まとめ

本研究では、Hue 省において、降雨流出計算から氾濫計算を一体的に解くことのできるモデルを構築し、その計算結果と実測値を比較し、モデルの整合性を確認した。また、ダムが存在により下流部の地点において、水位に 2m 程度の減少させる効果があることが分かった。この結果から、Huong 川の下流における洪水調節におけるダムの重要性が理解できる。このモデルは、ダム操作を最適化するためやこの地域全体で起こり得る洪水を計算するために、十分に信頼できるものである。

参考文献

- 1) The Prime Minister of Vietnam : Operation Procedure of the reservoirs in Huong river basin in yearly flood season, 2014.
- 2) Takahiro SAYAMA : Rainfall-Runoff-Inundation (RRI) Model Technical Manual, Technical Note of PWRI, No. 4277, PWRI, 2014.
- 3) ベトナム国Huong川洪水管理情報システム検討業務報告書, 株式会社 建設技術研究所, 2015.
- 4) Climograph monthly average climate - temperature and rainfall in Hue, 2017.

表-2 ダムが無い場合と浸水する家の割合 [%]

	ダムがないと浸水する家の割合 [%]
Hue Town	86.17555609
Huong Thuy	50
Phong Dien	68.51015801
Phu Vang	60.14721346
Quang Dien	63.2196162
Huong Tra	100
Phu Loc	79.86085683

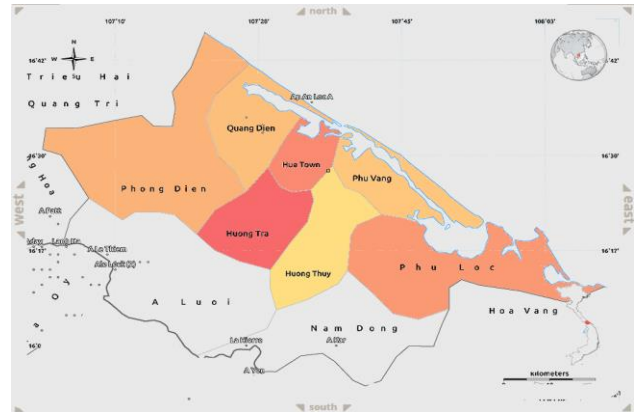


図-8 ダムが無い場合と浸水する家の割合 [%]

表-3 ダムが有る場合浸水する家の割合

	ダムがある浸水する家の割合
Hue Town	20.11
Huong Thuy	0.39
Phong Dien	5.08
Phu Vang	0.00
Quang Dien	11.02
Huong Tra	38.71
Phu Loc	8.79

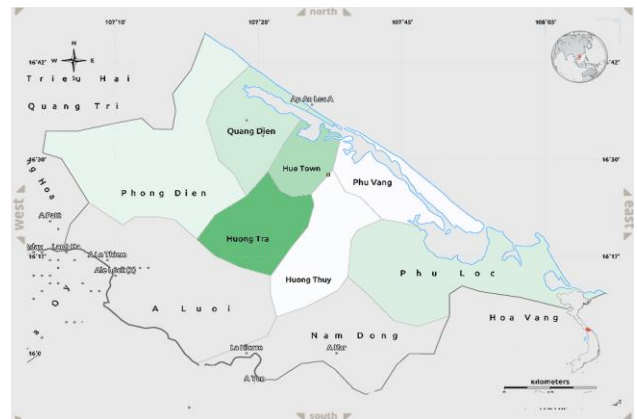


図-9 ダムが有る場合浸水する家の割合

- 5) Calculate flood in Huong river by general concentration water model, 2017.
- 6) 佐山敬洋, Nay Myo Lin, 深見和彦, 田中茂信, 竹内邦良: 降雨流出氾濫モデルによるサイクロナルギス高潮氾濫シミュレーション, 水工学論文集, 第55巻, 2011.