

洪水被害が多発する地域における気候変動の影響評価 ～ベトナム中部を例として～

Impacts assessment of climate change in areas where flood
subsidence occur frequently
~A casestudy of central Vietnam~

18N3100012C グエン ホアイ タイン (河川・水文研究室)
Nguyen Hoai Thanh / River Engineering and Hydrology Lab.

Key Words : Vietnam central region, probable maximum precipitation, RRI model

1. はじめに

ベトナムは世界でも有数の人口を誇るとともに、その国土の70%以上が洪水、台風、地すべり、干ばつなど様々な自然災害の危険に晒されている。特に洪水はベトナムにおいて発生する自然災害の55%を占めており、多くの人的・経済的被害を及ぼしている¹⁾。表-1に1997年から2017年までの約50年間に渡る台風による死者数と被災地域を示す。この表より、ベトナムで発生する台風による被害の多くは中部区域で発生していること、また毎年のようにベトナム中部において、洪水による死傷者及び行方不明者が発生し、甚大な被害が発生してきたことが分かる。

気候変動に関する政府間パネル(IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change)第5次評価報告書によると、「世界平均地上気温が上昇するにつれて、中緯度の陸域のほとんどと湿潤な熱帯域において、今世紀末までに極端な降水がより強く、より頻繁となる可能性が非常に高い」²⁾と予測されている。そのためベトナムでは、気候変動に伴う降雨強度・頻度の増加により、さらに、水害の規模や発生頻度が増加する可能性がある。

本研究では、ベトナムにおける気候変動予測に基づいた洪水リスク評価手法の確立を目指し、2つの気候変動条件下において、予測されている降雨データを用いて降雨流出から氾濫解析を一体的に解析できるモデルを構築し、過去の実測データと比較することによって浸水深と浸水面積の評価を行った。

2. 研究手法

IPCCは、将来の気候条件について温室効果ガスの排出量を仮定して4つのシナリオを提案し、それに基づいて将来気候を予測している。SEACLID(Southeast Asia Climate Downscaling Experiment)によると、ベトナムではRCP4.5とRCP8.5の2つの条件を考慮すべきとしている³⁾。

本研究では、過去データとして2006年から2017年までに各流域で観測された降雨データを用いた⁴⁾⁵⁾。

年月	死者(人)	区域
1997年11月	3,111	中部、南部
1999年11月	749	中部
2002年9月	171	南部
2003年11月	65	中部
2004年12月	23	中部
2005年9月	68	中部
2006年9月	72	中部
2007年9月	88	北部、中部
2008年8月	133	北部
2009年9月	179	中部
2010年8月	35	中部
2011年10月	55	中部
2013月10月	26	中部
2016年11月	111	中部
2017年8月	386	南部、中部
2018年12月	133	中部
2019年10月	8	中部

表-1 1997年から2017年までの台風による死者数と被災地域

また将来気候については、ベトナムにおいてRCP4.5とRCP8.5の2つの条件下でRegional Climate Model (RCM)を用いて計算された、2017年から2060年までの44年間の将来降雨データ⁷⁾のうち、最大日累積降水量が観測された日を含む月の1か月分のデータに対し、CCAFS(Climate Change, Agriculture and Food Security)によって提案されているバイアス補正を行い、将来の降雨データとした⁸⁾。次にバイアス補正に用いた式を式(1)および式(2)に示す。

$$P_{his} = P_{his}(d) \frac{\mu_m(P_{obs}(d))}{\mu_m(P_{his}(d))} \quad (1)$$

$$P_f = P_f(d) \frac{\mu_m(P_{obs}(d))}{\mu_m(P_{his}(d))} \quad (2)$$

ここに、 P_{his} :過去降水量、 P_f :将来降水量、 P_{obs} :実測降水量、 μ_m :月平均降水量、 d :日付とする。バイアス補正したデータを用い、ベトナム中部を流れる4つの河川流域において、ダムより上流側を上流域、ダムから河口までを下流域として降雨流出から浸水域まで一体的に計

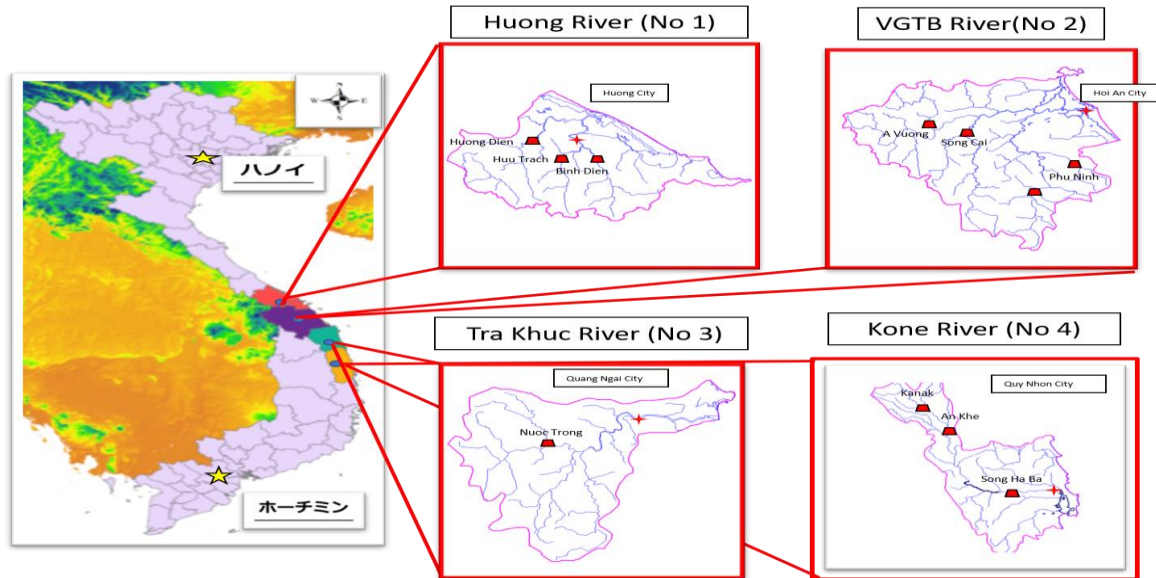


図-1 ベトナム中部の流域図及び本研究の対象流域

算できるRRI(Rainfall Runoff Inundati-on)モデル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モデルの基礎式を以下に示す。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = r - f \quad (3)$$

$$\frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial u q_x}{\partial x} + \frac{\partial v q_y}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_x}{\rho_w} \quad (4)$$

$$\frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial u q_x}{\partial x} + \frac{\partial v q_y}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_y}{\rho_w} \quad (5)$$

連続式が式(3)、平面2次元の浅水方程式が式(4)および式(5)である。ここに、 h :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($q_x=uh$ 、 $q_y=vh$)、 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_w :水の密度である。

式(4)、式(5)の右边第二項は、Manning則を用いて、式(6)、式(7)として表す。

$$\frac{\tau_x}{\rho_w} = \frac{gn^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (6)$$

$$\frac{\tau_y}{\rho_w} = \frac{gn^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (7)$$

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(4)および式(5)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(4)お

よび式(5)の u と v をそれぞれ無視することにより、以下の式(8)、式(9)を得る。

$$q_x = -\frac{1}{n} h^{5/3} \sqrt{\left| \frac{\partial H}{\partial x} \right|} \operatorname{sgn} \left(\frac{\partial H}{\partial x} \right) \quad (8)$$

$$q_y = -\frac{1}{n} h^{5/3} \sqrt{\left| \frac{\partial H}{\partial y} \right|} \operatorname{sgn} \left(\frac{\partial H}{\partial y} \right) \quad (9)$$

3. 対象地域及び流域

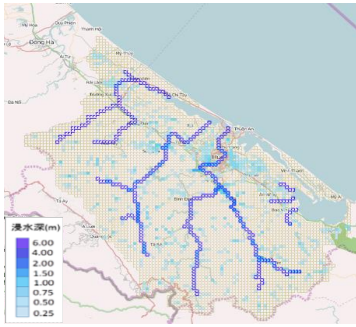
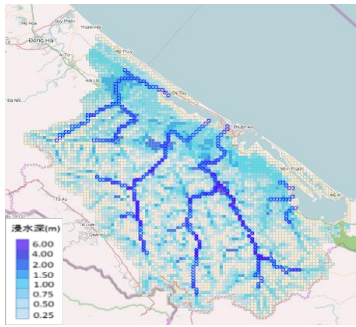
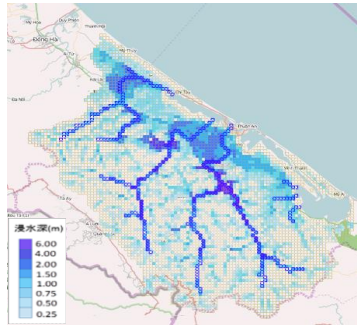
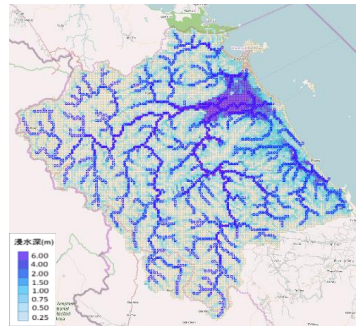
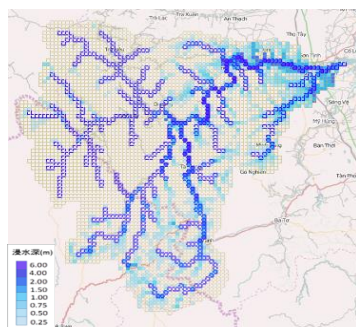
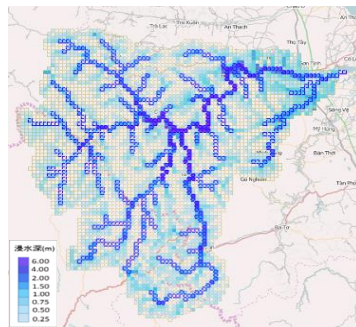
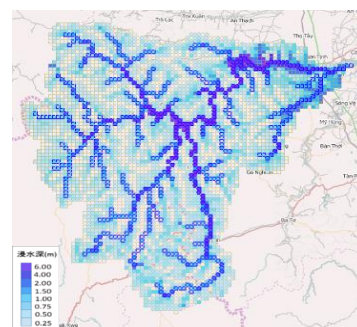
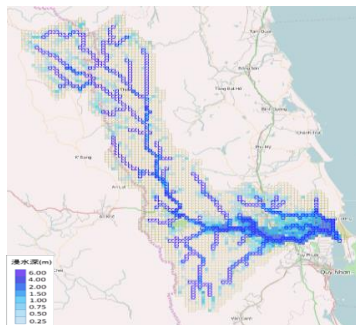
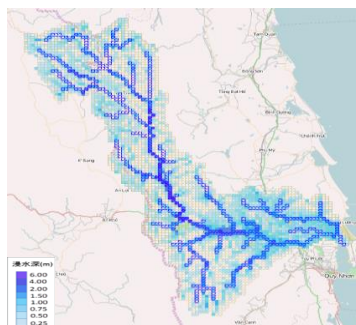
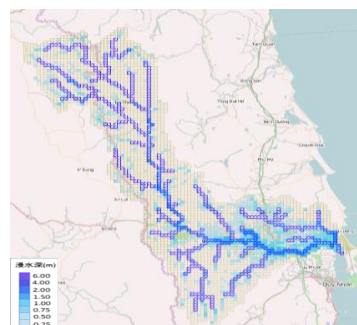
本研究では、洪水被害が頻発しているベトナム中部地域を対象とする。図-1に示すように、本研究の対象流域は、ベトナム中部地域のHuong川、Vu Gia-Thu Bon川、Tra Khuc川、Kone川の4つの河川である。

Huong川は、河川長104 km、流域面積2830km²、流域内人口が約114万人であり、Ta Trach川、Huu Trach川及びBo川の3つの支川から構成される。また、河口に位置するHue cityは人口約45万人の大都市である。

Vu Gia-Thu Bon川流域は、河川長が204km、流域面積が10,350 km²、流域内人口が約2,800万人である。当該流域は、年平均降雨量が2,000 mm以上であり、洪水災害による死傷者数も多い流域である。

Tra Khuc川は河川長135 km、流域面積は3,240 km²、流域内人口は約130万人である。この川は急勾配の河川であり、河川長の約1/3の部分が急勾配である。なお、当該河川の上流域では、降雨観測が実施されている。4つの流域の中で最大の人口を有するQuang Ngai city(人口約143万人)がある一方、流域内人口の約87%が農村部に居住している。

Kone川は河川長91 km、流域面積1,260 km²、流域内人

	過去の気象条件	将来気候条件 (RCP4.5)	将来気候条件 (RCP8.5)
Huong river			
	最大浸水深:1.00m 最大浸水面積:7km ²	最大浸水深:7.93m 最大浸水面積:993km ²	最大浸水深:7.77m 最大浸水面積:838km ²
Vu Gia-Thu Bon river			
	最大浸水深:14.71m 最大浸水面積:3186km ²	最大浸水深:15.7m 最大浸水面積:1681km ²	最大浸水深:15.32m 最大浸水面積:2114km ²
Tra Kruk river			
	最大浸水深:19.39m 最大浸水面積:1120km ²	最大浸水深:12.64m 最大浸水面積:376km ²	最大浸水深:19.26m 最大浸水面積:601km ²
Kone river			
	最大浸水深:1.14m 最大浸水面積:96km ²	最大浸水深:8.51m 最大浸水面積:520km ²	最大浸水深:1.94m 最大浸水面積:181km ²
図-2 RRIの計算結果より、各流域及び気候条件において浸水面積が最大となった時刻			

口は約103万人であり、人口約46万人のQuy Nhon cityを有する。南西から北東の方向を流れ、河川長のうち2/3の部分は標高100-1,000mの山地に位置する。

4. 計算結果

4つの流域でRRIを用いて計算を行った結果を図-2に示す。図は全て、各シナリオにおいて0.1m以上の浸水が発生している面積が最も大きかった時刻のものを掲載している。

Huong riverにおいてはRCP4.5の将来気候条件下において、最大浸水深は7.93m、0.25m以上の最大浸水面積は993km²となること分かった。また、Vu Gia riverにおいては、RCP4.5の将来気候条件下において、最大浸水深は15.7m、過去の気候条件下において、最大浸水面積は3186km²となること分かった。Kone riverにおいては、過去の気象条件下において、最大浸水深は19.39m、0.25m以上の最大浸水面積は520km²となること分かった。Kone riverにおいては、将来気候条件下において、最大浸水深は8.51m、0.25m以上の最大浸水面積は520km²となること分かった。

また同図より、いずれの流域においても下流部分、特に河口付近において、浸水深が大きくなっていることが見てとれる。

5. ハザードマップの作成

RRIを用いた計算により得られたデータより、各流域において浸水範囲が最も広がったものを組み合わせ、ベトナム中部におけるハザードマップを作成した。これより、HueやDa Nang, Hoi An, Tam Ki, Quang Ngai, An Nhonといった主要な都市や、Ba Gi空港といったインフラ施設に浸水が発生するリスクがあることが明らかになった。特に、Da NangとHoi Anの間では浸水深が6mを超えることが予測される。

6. まとめ

本研究においては、2つの気候変動条件下において予測されている降雨を用いて降雨流出から氾濫解析を一体的に解析できるモデルを構築し、過去の実測データと比較することによって浸水深と浸水面積の評価を行った。その結果、Huong river, Vu Gia-Thu Bon river, Kone riverにおいて、気候変動によって現在気候よりも大きな浸水被害が発生する可能性があることが明らかになった。また各流域において、浸水は流域の下流部、特に河口付近を中心に発生し、浸水深も深くなっているこ

とが分かった。さらに各流域で発生が予測された最大浸水範囲を基にハザードマップを作成した結果、ベト

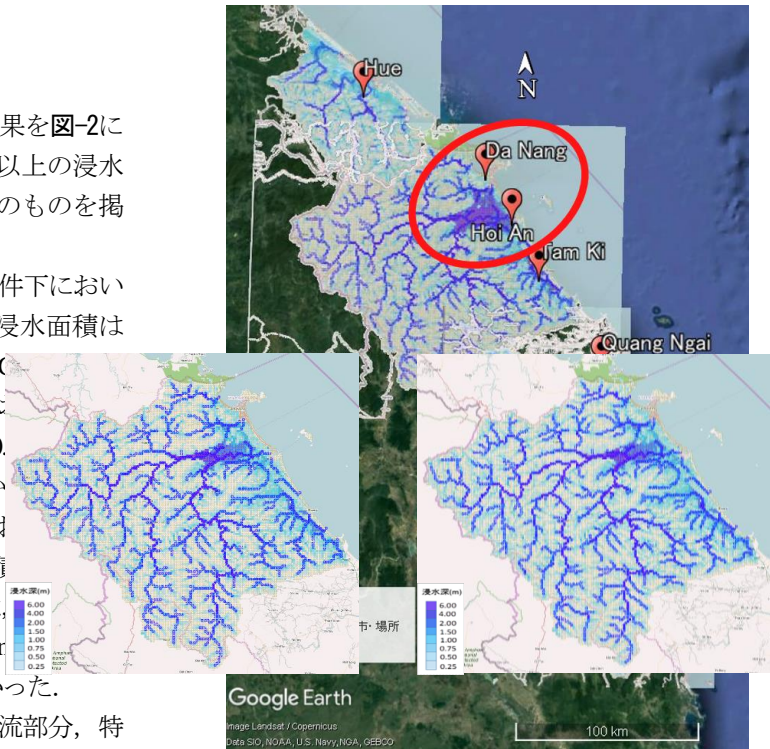


図-3
計算結果より作成した、最も浸水範囲が広がる
場合を仮定したハザードマップ

ナム中部の主要都市に浸水リスクがあること、特にDa NangとHoi An及びその間の地域において、浸水深が6.0mを超える甚大な被害を予測した。河口部において浸水被害が現在より大きくなることは、都市や地域社会に非常に大きな被害を与えるため、今後これらのことに対する対策が必要である。

参考文献

- 1) Utrecht University, Fujin Zhou, W.J. Wouter Botzen: The Impact of Natural Disasters on Firm Growth in Vietnam, Interaction with Financial Constraints, pp.3, 2017.
- 2) 環境省：IPCC 第5次評価報告書の概要 -第1作業部会(自然科学的根拠), 2014.
- 3) SEACLID : General Circulation Models and RCPs, <http://www.ukm.edu.my/seaclid-cordex/>.
- 4) Vietnam Meteorological and Hydrological administration
- 5) Vietnam academy for water resources
- 6) Vietnam Meteorological and Hydrological administration, METEOROLOGICAL DATA <http://kttvqg.gov.vn/>
- 7) ESGF : World Climate Research Programme, <https://esgf-node.llnl.gov/search/cmip5/>

- 8) CCAFS : Bias Correction, http://ccafs-climate.org/bias_correction/
- 9) Takahiro Sayama : Rainfall-Runoff-Inundation (RRI) Model Technical Manual, Technical Note of PWRI, No. 4277, PWRI, 2014.