

17. 富山県河川を対象とした各種適応策における 洪水被害額の評価

菊地 大智¹・呉 修一^{2*}

¹富山県立大学大学院 工学研究科 環境・社会環境基盤工学専攻 (〒939-0398 富山県射水市黒河 5180)

²富山県立大学 工学部 環境・社会基盤工学専攻 (〒939-0398 富山県射水市黒河 5180)

* E-mail: kure@pu-toyama.ac.jp

近年、地球温暖化によって激甚化する水災害の拡大を踏まえ、被害軽減を目的に様々な流域治水オプションの検討がおこなわれているが、適応効果だけでなく緩和効果をも考慮した適応策の検討が重要となる。本研究では、富山県を流れる黒部川を対象に、洪水氾濫解析を実施することで適応策の評価を行う。そこで、外力にはd4PDFより算出した将来実験の河川流量を用いて、直接被害を対象に洪水氾濫被害額を算定する。解析結果より、植生伐採および田んぼダムの効果は殆ど確認できず、浸水深および洪水被害額の軽減効果は確認できなかった。今後は、河川流域特性、適応策の特徴に応じた適応策だけでなく、新たな適応策による定量評価が必要であることが明らかになった。

Key Words : Toyama, flood inundation simulation, global warming, paddy field dam, vegetation management,

1. はじめに

近年、地球温暖化による洪水の規模拡大、頻度増加が生じており、全国各地で水災害が多発している。富山県でも平成 30 年 7 月豪雨では既往 2 番目の洪水流量を庄川と神通川で観測するなど、洪水被害への懸念が高まっている。このような洪水被害の軽減を目的に流域治水の検討が精力的に行われている。また、地球温暖化に伴う気候変動による洪水被害の増加に対しても、様々な適応・緩和策が検討されており、これら流域治水オプションおよび温暖化適応策の定量評価を目的とした研究が多く実施されている。

このような既往研究の一例として、石川・原田¹⁾は、盆地地形を利用した超過洪水用遊水池の効果を洪水氾濫解析より定量的に評価しており、遊水池が超過洪水に対して 10%弱の洪水ピークの低減が可能であることを示している。このように河川上流部の複数の盆地地形を利用した施設の有効活用が流域治水計画における手段の一つと提案している。竹田ら²⁾は、2019 年台風 19 号を対象として上流田んぼダムの効果を定量評価しており、計画降雨を大きく上回る洪水時に上流域の田んぼダムにより浸水被害を補助的に軽減する効果があることを示している。尾島ら³⁾は、富山県の庄川流域を対象として利賀ダ

ムの新規建設が洪水氾濫範囲・浸水深の軽減および破堤開始時刻の遅延に効果的であることを明らかにしている。山本ら⁴⁾は、日本全国を対象に洪水氾濫解析を実施し気候変動への緩和策および土地利用規制の評価を行っている。これにより日本全域の年期待被害額を算出するとともに、土地利用規制の費用便益比の算出に成功している。

上記したように、様々な適応策や流域治水オプションの洪水低減効果が日本の多くの流域で様々な手法・空間スケールで評価されている。しかしながら、流域に適した対策を検討することが重要となり、適応策のみならず緩和策の促進が脱炭素社会の達成に向けて極めて重要であり、緩和効果をも有する適応策の提案が昨今強く求められている。つまり、誤った適応策を講じることで地球温暖化の原因となる温室効果ガスの排出増が懸念される。そのため、河川流域特性に加えて緩和効果をも考慮した適応策の検討が必要になる。その際には、実現可能性・効果を議論するために費用便益分析などの評価も必要となってくる。この点に関して、石川ら⁵⁾は、河道内植生伐採を適応・緩和効果がある対策として提案している。河道内植生を伐採することでバイオマスとしての利用を提案するものであり、1石2鳥対策として期待され提案したものである。しかしながら、石川ら⁵⁾の研究では洪水氾濫解析は実施されておらず洪水被害額での比較など

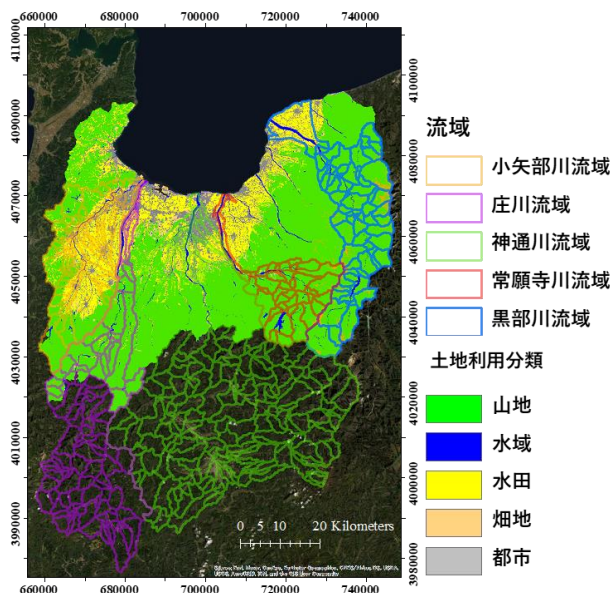


図-1 対象領域の土地利用分類

は実施されていない。よって本研究では、富山県において洪水氾濫解析を将来気候で実施するとともに、氾濫の直接被害を対象に洪水氾濫被害額を算定する。

2. 対象領域の概要

本研究では、富山県、長野県にまたがる一級河川の黒部川を対象とする(図-1)。黒部川は、本川流路延長が85km、流域面積が682km²の一級河川である。また、急勾配であり、河床の勾配は山地部で約1/5から1/80、扇状地部で約1/100からほぼフラットとなる。富山県の河川の特徴として日本屈指の急勾配河川であるため、浸食による堤防被害が懸念されている。急流のため河川水が集中し、砂州の固定化、植生繁茂が見られる箇所が多く存在する。図-1に示す土地利用を見ると、平野部では水田の広がり確認され、降雨貯留効果が期待される。

3. 研究手法

本研究では、富山県の一級河川である黒部川を対象に洪水氾濫解析を実施することで適応策の評価を行う。適応策としては、河道内植生の伐採および田んぼダムの2つを検討する。洪水被害額を算定することで、適応策の有効性を確認する。以下に研究手法の概要を示す。

(1) 対象河川流量の設定

石川ら⁹⁾は、地球温暖化による富山県河川の流量変化を評価するためd4PDF降雨量データを用いた降雨流出計算を実施している。降雨流出モデルに土壌・地形特性に基づく降雨流出計算手法を適用している⁹⁾。また、河道

部の洪水追跡計算には、一次元不定流計算を用いている。本研究の対象外力として、4°C上昇実験より算定された河川流量を使用する。4°C上昇実験の超過確率0.1(1000年確率)に相当するイベントを抽出し、対象外力としている。

(2) 洪水氾濫計算の概要

洪水氾濫計算には、著者らのグループが従来から使用している二次元不定流計算を行う⁹⁾。一次元不定流計算に基づく河道部の洪水追跡は、上記河川流量を用いて実施している。それぞれの河道網は国土数値情報の河川データから抽出している。河川横断面データは、国土交通省のデータを大臣管理区間で使用している。河道内粗度係数は石川ら⁹⁾がNDVIより算定した河道内植生を考慮した粗度係数を与える。堤内地の標高データは、水文補正標高データの30mメッシュ標高データを使用する。家屋の影響を考慮するために堤内地の粗度係数は今井ら⁷⁾の式を用い、家屋格子に粗度係数を与える⁹⁾。

堤防破堤地点は、被害額が最大となるような箇所を選定した。堤防破堤幅は急流河川の洪水想定区域図作成マニュアルに従い、堤防破堤箇所の河川幅とした。

(3) 資産額と被害額の算定

氾濫域内の資産額の算定は、治水経済調査マニュアル(案)⁸⁾及び各種資産評価単価及びデフレクター⁹⁾を参考に実施した。氾濫計算より得た30mの浸水深計算結果メッシュを、解像度250mにアップスケーリングした平均値を基に、対象地域の直接被害を算定している。

被害額の算定は、治水経済調査マニュアル(案)⁸⁾を参考に、浸水域における直接被害額を算定する。算定方法は対象資産に浸水深別の被害率を乗じる。農作物には、浸水深に応じた浸水日数3~4日の被害率を乗じて算定する。

(4) 適応策の評価手法の概要

適応策は、石川ら⁹⁾が既に実施している河道内植生伐採および田んぼダムを用いて評価を行う。以下に各適応策のモデルでの表現方法を説明する。

a) 河道内植生伐採

対象河川における一次元不定流計算時の粗度係数を変化させることで、植生伐採前後の評価を行った。植生が繁茂している状態はNDVI式⁹⁾より計算した粗度係数を使用し、植生伐採が行われた状態は高水敷の粗度係数を一律0.03に低下させることで伐採を表現した計算を実施した。NDVI式はNDVIの値と国土交通省の植生調査より算定された高水敷粗度係数の比較により算定されている。

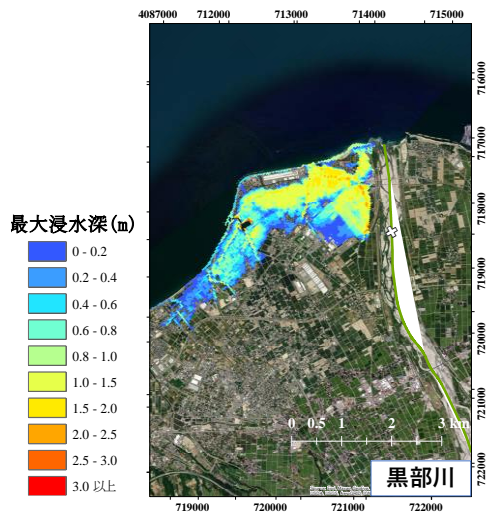


図-2 黒部川における氾濫解析結果 (適応策なし)

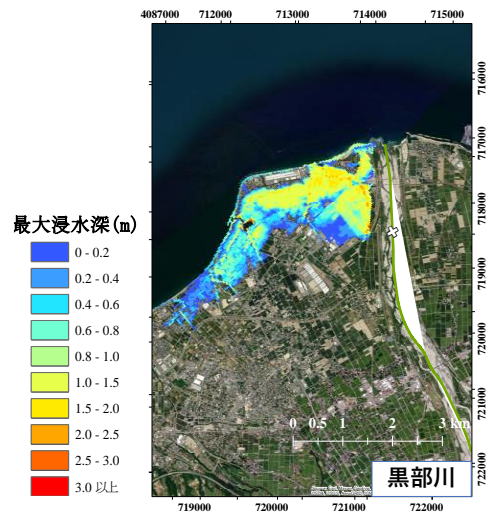


図-3 黒部川における氾濫解析結果 (植生伐採)

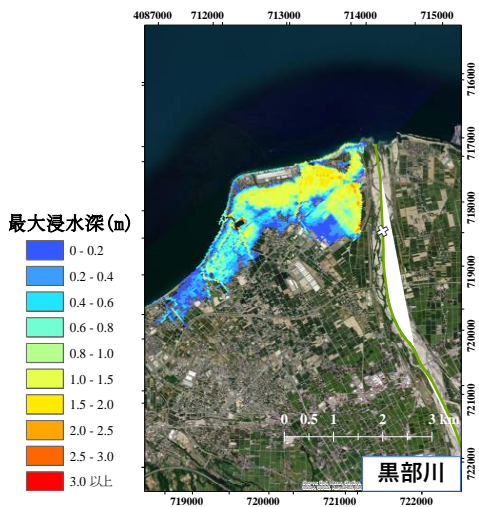


図-4 黒部川における氾濫解析結果 (田んぼダム)

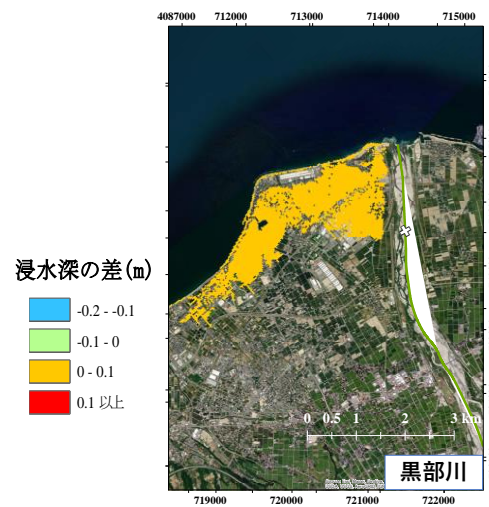


図-5 適応策 (植生伐採) による浸水深の差分

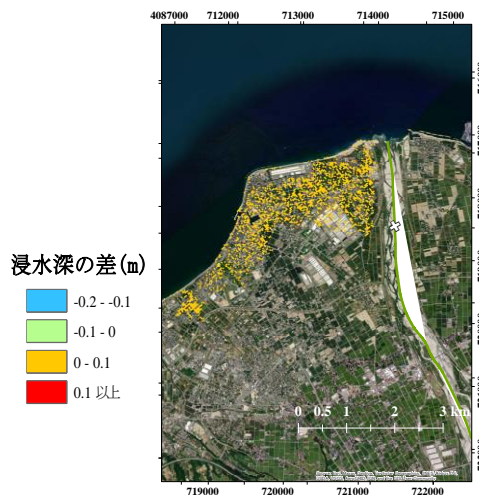


図-6 適応策 (田んぼダム) による浸水深の差分

b) 田んぼダム

石川ら⁹⁾は田んぼダムモデルとしてChaiら¹⁰⁾の一次元田んぼダムモデルを使用している。本手法は田んぼダムの表現を一次元的に行うものであり、広域での評価・適用に優れている。

下記にオリフィス式による排水流量，円筒堰による排水流量，田面水位の式をそれぞれ式(1)，(2)，(3)に示す。

$$q_{PO} = C_{PO} A \sqrt{2g(h_{CW} + h_D)} \quad (1)$$

$$q_{PCW} = \sqrt{C_{PCW} g d^5 (h_{CW}/d)^3} \quad (2)$$

$$\frac{dh_w}{dt} = -\frac{Q}{A_p} + R - L \quad (3)$$

ここに、 q_{PO} ：オリフィス式で計算した流出量 [m^3/s]， C_{PO} ：オリフィスの流量係数， A ：孔断面積 [m^2]， g ：重力加速度 [m/s^2]， h_{CW} ：フリードレーン管天板を基準とした田面水位 [m]， h_D ：フリードレーン管天板一流出高孔間距離 [m]， q_{PCW} ：円筒堰の公式で計算した流出量 [m^3/s]， C_{PCW} ：円筒堰の流出係数， d ：フリードレーンの管径 [m]， h_w ：田んぼダム内水位 [m]， Q ：排水量 [m^3/s]， A_p ：水田面積 [m^2]， R ：降水量 [m]， L ：減水深 [m]である。排水量については、Chaiら¹⁰⁾と同様に、式(1)と式(2)の両方で逐次計算し、値の小さい方を排水量とした。モ

表-1 4°C上昇実験（適応策なし・あり）の黒部川における洪水被害額

| 対象資産（億円） | 資産額（浸水域） | 適応策なし | 植生伐採（軽減率 [%]） | 田んぼダム（軽減率 [%]） |
|----------|----------|-------|---------------|----------------|
| 家屋 | 968 | 276 | 276(0.0%) | 276(0.0%) |
| 家庭用品 | 336 | 150 | 150(0.0%) | 150(0.0%) |
| 事業所償却・在庫 | 54 | 25 | 25(0.0%) | 25(0.0%) |
| 農漁家償却・在庫 | 2.6 | 0.9 | 0.9(0.0%) | 0.9(0.0%) |
| 農作物 | 2.6 | 1.0 | 1.0(0.0%) | 1.0(0.0%) |
| 合計 | 1,363 | 452 | 452(0.0%) | 452(0.0%) |

デルの設定やパラメータ等は Chai ら¹⁰と同様の値を用いている。本研究では、サブ分布定数系の流出モデルを使用しているため、都市・水田・水域・山地・畑地の5分類とした土地利用分類を、都市・田んぼダム未実施水田・田んぼダム実施水田・水域・山地・畑地の6分類とし、田んぼダム実施水田からの排水流量を田んぼダムモデルで、田んぼダム実施水田の面積を差し引いた水田面積分は降雨流出モデルで計算を行った。細かい条件の設定などは石川ら⁹を参照されたい。

4. 計算結果

(1) 洪水氾濫解析結果

4°C上昇実験での氾濫解析結果を図-2に示す。氾濫状況を見ると、標高の低くリスクの高い場所で顕著な浸水が確認され、2級河川の片貝川に広がりを見せている。なお図中×印が破堤地点である。これら氾濫解析に対して適応策の適用を行う。

氾濫解析に河道植生伐採を適用した結果を図-3に、田んぼダムを適用した結果を図-4に示す。また、適用あり・なしで浸水深の差分を計算した結果を図-5、6に示す。石川ら⁹は、黒部川の植生伐採と田んぼダムによる越水・侵食ポテンシャル増加割合より、適応策の効果が確認できないことを示した。これらの図より、浸水深の差は0.0.1m程度となっているため、現在の条件では効果が少ないことがわかる。以下、洪水被害額での評価を実施する。

(2) 洪水氾濫被害額の算定結果

4°C上昇実験での浸水範囲で算定した資産額と洪水被害額を表-1に示す。資産額・被害額ともに家屋の占める割合が全体的に大きい。植生伐採及び田んぼダムの効果は殆どなく、洪水被害額の軽減効果は確認できなかった。堤防破堤地点を河口付近に選定しているため、下流域での植生繁茂量が少なく、伐採量が少ないため効果が得られなかったと考えられる。今後は、植生伐採量を増やすなどの簡易的な手法の検討が必要である。また、下流域に水田が集中していることから、上流での降雨貯留効果が期待できなかったため、軽減効果が確認できな

かったと考えられる。

5. まとめ

黒部川における洪水氾濫解析及び直接被害額の算定を行った。適応策として河道内植生伐採及び田んぼダムの2つの評価を行ったが、顕著な浸水深の減少までは確認されなかった。植生伐採及び田んぼダムの効果は殆ど見られないことが明らかになったため、流域特性、適応策の特徴に応じて適応策の選定・定量評価を行うことが重要であることが認識された。今後は、他の適応策として、利水ダムの嵩上げや霞提による流出抑制効果などを評価する。また、d4PDFより算出した過去実験、将来実験（2°C・4°C上昇）の確率年毎の流量を用いて富山県全域で洪水氾濫解析を行う。これらの結果を用いて、適応策における費用便益分析を行い、年平均被害軽減期待額を算出する。最終的には適応策のみならず、温室効果ガスの排出を抑制する緩和のシナジー効果を考慮するための評価手法を検討する。

謝辞：本研究は、（独）環境再生保全機構の環境研究総合推進費（JPMEERF20S11813）により実施したものである。本研究で使用した河川横断面データなどは、国土交通省北陸地方整備局黒部河川国道事務所に提供頂いた。末尾ながらここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 石川忠晴, 原田翔太: 盆地地形を利用した超過洪水用遊水地について, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.77, No.2, pp.1_409-1_414, 2021
- 2) 竹田稔真, 朝岡良浩, 佐藤智明, 林誠二: 2019年台風19号を対象とした須賀川市の田んぼダム事業による浸水軽減効果の解析, 土木学会論文集G (環境), Vol.76, No.5, pp.1_343-1_351, 2020.
- 3) 尾島由利香, 呉修一, 石川彰真, Bambang Adhi Priyambodoho, 丸谷靖幸: 庄川における降雨流出・洪水氾濫解析と可能最大洪水時の利賀ダムの影響評価, 土木学会論文集 G (環境), Vol.75, No.5, pp.1_281-1_287, 2019.

- 4) 山本道, 風間聡, 峠嘉哉, 多田毅, 山下毅: 日本全国洪水氾濫解析による気候変動への緩和策及び土地利用規制の評価土木学会論文集G(環境), Vol.76, No.5, pp.I_141-I_150, 2020.
- 5) 石川彰真・呉修一・菊地大智・武田尚樹・青木明日香: 富山県河川における地球温暖化の影響評価と各種適応策の定量評価, 土木学会論文集G(環境), Vol.78, No.5, 印刷中, 2022.
- 6) 八木隆聖, 呉修一, 木藤あや音: 洪水氾濫解析での家屋の取り扱いの影響評価と3分類でのハザード明示方法の提案, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.77, No.2, pp.I_1405-I_1410, 2021.
- 7) 今井健太郎, 今村文彦, 岩間俊二: 市街地における実用的な津波氾濫解析手法の提案, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.69, No.2, pp.I_311-I_315, 2013.
- 8) 国土交通省河川局: 治水経済調査マニュアル(案), p40-p54, 2020.
- 9) 国土交通省河川局: 治水経済調査マニュアル(案) 各種資産評価単価及びデフレーター, pp.1-pp.12, 2020.
- 10) Yikai Chai, Yoshiya Touge, Ke Shi, So Kazama: Evaluating Potential Flood Mitigation Effect of Paddy Field Dam for Typhoon No.19 Using Rainfall Runoff Inundation Model in the Naruse River Basin, Journal of Japan Society of Civil Engineers(B1), Vol.76(1), pp.295-303, 2020.