

北陸地域に最も適した洪水対策の検討：田んぼダム以外に何ができるのか？

富山県立大学 環境・社会基盤工学科 呉修一

富山県立大学大学院 環境・社会基盤工学専攻 石川彰真

富山県立大学大学院 環境・社会基盤工学専攻 菊地大智

1. はじめに

昨今の地球温暖化に伴う豪雨災害の増加により、今後の治水は「流域治水」へと転換することになった。流域治水や温暖化への適応策として様々な洪水対策オプションが検討されており、全国的には「田んぼダム」への期待が高まっている。しかしながら、田んぼダムにも上流実施者側と下流の恩恵を受ける人々との間に温度差があり、実施のコンセンサスは得られていないのが現実である。それでは、田んぼの面積率などが高い北陸では、「田んぼダム」以外のオプションはないのか？田んぼダムがどの程度の効果を得られるかを検証しつつ、他の適応オプションと比較し、北陸地方に最も適し実施可能な洪水対策を提案することが重要となる。特に、カーボンニュートラル、脱炭素が求められる昨今においては、地球温暖化への適応のみではなく、CO₂ 排出量低減にも寄与する緩和にも効果があるシナジー効果が様々な洪水対策に求められている。よって、本事業では河道内植生の植生伐採も検証する。この植生伐採により河川の流下能力を向上し、さらには伐採した植生をバイオマス燃料に転換することで脱炭素に寄与するため、適応・緩和の一石二鳥対策として期待できる。

2. 対象流域の概要

本事業では富山県を流れる一級河川（小矢部川・庄川・神通川・常願寺川・黒部川）を対象とする（図-1）。流域面積は小矢部川が 667 km²、庄川が 1,189 km²、神通川が 2,720 km²、常願寺川が 368 km²、黒部川が 682 km² である。富山県の河川の特徴として急勾配であることが挙げられる。黒部川の勾配は山地部で 1/5~1/80、下流の扇状地部で 1/100、常願寺川は山地部で約 1/30、扇状地部で約 1/100 と世界屈指の勾配である。残りの 3 河川についても急勾配であり、河川堤防の侵食被害が発生しやすいといった特徴がある。また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。土地利用として、平野部は水田が広がっており、水田割合が小矢部川流域で 33%、神通川流域で 10%と田んぼダムによる降雨貯留効果が期待される。

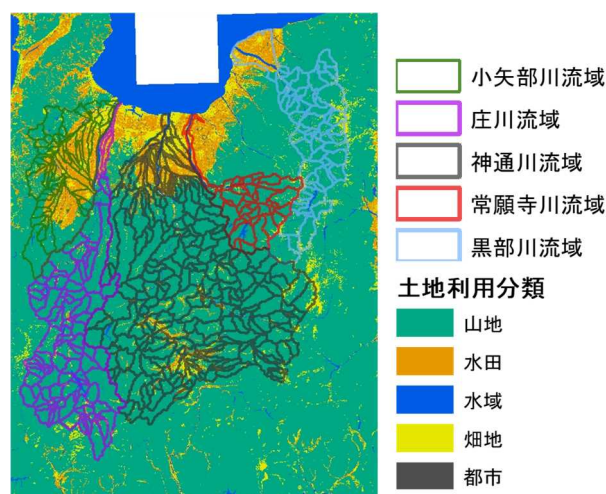


図-1 対象流域の土地利用分類

3. 研究手法

本事業では上記 5 河川を対象に降雨流出・洪水氾濫モデルの適用を行い、河川流量や洪水氾濫量の推定を行う。将来の地球温暖化予測として、富山県の土地利用変化を SSP シナリオより算定し、降水の変化を d4PDF データセットより算定する。また洪水規模を、越水ポテンシャル、侵食ポテンシャルおよび洪水氾濫被害額で評価することで、田んぼダム、植生伐採の効果を定量的に評価することを試みる。

4. 将来河川流量の評価

将来の流量変化を評価するにあたり、将来の土地利用割合についても考慮する必要がある。そこで将来の土地利用として「環境研究総合推進費 2-1805 成果（日本版 SSP 別土地利用シナリオ²⁾」を使用した。2℃上昇実験に RCP2.6 で SSP1 シナリオの 2050 年データを使用し、4℃上昇実験に RCP8.5 で SSP5 シナリオの 2050 年データを使用した。富山県では人口が減少し、都市割合が減少、荒地分類が増え、荒地分類を含む畑地割合の増加が見られた。

将来流量の増加を評価するため、d4PDF 降雨量データを用いた降雨流出計算を実施した。使用データは石川・呉³⁾のバイアス補正を行った d4PDF 降雨量データの過去実験・2℃上昇実験・4℃上昇実験を使用した。d4PDF の降雨データの降雨流出計算を行い、一年間で 72 時間の合計流量が最大の期間を抽出し、抽出した期間のピーク流量を使用し、非超過確率はワイブル公式を用いて求めた。算出した各河川の将来流量の確率分布は石川・呉³⁾を参考にされたい。過去実験の 150 年確率の流量に対する 2℃上昇実験と 4℃上昇実験の増加割合を表-1 に示す。

表-1 150 年確率の流量増加割合

	小矢部川	庄川	神通川	常願寺川	黒部川
2℃上昇	1.33 倍	1.11 倍	1.22 倍	1.18 倍	1.21 倍
4℃上昇	1.46 倍	1.26 倍	1.38 倍	1.45 倍	1.45 倍

5. 将来流量による越水・侵食ポテンシャルへの影響評価

(1) 越水ポテンシャル

越水ポテンシャルは土屋ら⁴⁾による算定式を用いる。以下に算定式を示す。

$$E_p = H - H_p \quad (1)$$

ここに E_p : 越水ポテンシャル[m], H : 堤防高[m], H_p : 計算結果のピーク水位[m]である。今回は堤防高と次元不定流計算によって得られたピーク水位の差が 0~1 m, 1~2 m, 2 m 以上の 3 分類で評価を行った。入力流量に過去再現実験, 2℃上昇実験, 4℃上昇実験の 150 年確率流量を使用することで、将来流量による危険箇所の影響評価を行った。一例として 4℃上昇の結果を図-2 に示す。小矢部川の河口部付近で危険箇所が多いことが分かった。これは堤防がなく、水位面と堤防高が近いためである。2℃, 4℃と気

温上昇につれ小矢部川の河口部から上流に向けて危険箇所が増加している。これは小矢部川が他の富山県河川に比べ緩勾配であり、かつ蛇行部であること、また植生繁茂により高水敷の粗度係数が高いため水位が上昇しやすいためである。

(2) 侵食ポテンシャル

侵食ポテンシャル評価には八木ら⁵⁾の一次元解析を用いた河川侵食危険箇所の検出法を使用した。以下に使用した検出法を示す。

$$|\delta u_i - \delta u_{ei}| = |\delta u_n| = \frac{\alpha}{2C_0} \left(1 - \frac{C_0}{2K}\right) \frac{q}{r} \quad (2)$$

ここに、 δu_n : 流線と垂直方向（主流にたいして左方向が正）の水面と底面の流速差（二次流強度を示す）、 $\alpha=K/6$, K : カルマン係数, $C_0=u_*'/U$, u_*' : 摩擦速度 [m/s], U : 断面平均流速 [m/s], q : 単位幅流量 [m³/s], r : 曲率半径（の大きさ）である。この式は流量・流速が大きく、カーブが大きい箇所ほど侵食の危険があるとした式である。入力流量は越水と同様に過去再現実験、2℃上昇実験、4℃上昇実験の150年確率流量を使用し、侵食危険箇所の影響評価を行った。一例として、4℃上昇の結果を図-3に示す。図-3は判別を容易にするため過去実験からの増加割合を示している点に注意されたい。侵食ポテンシャル評価の結果から庄川と神通川で危険箇所が多く評価された。これは流量が多いほど危険箇所と評価される式のため、流量が多い庄川、神通川が評価されたためである。また増加割合では急勾配であり、流速が速くなりやすい常願寺川で侵食ポテンシャルの増加が大きく見られた。

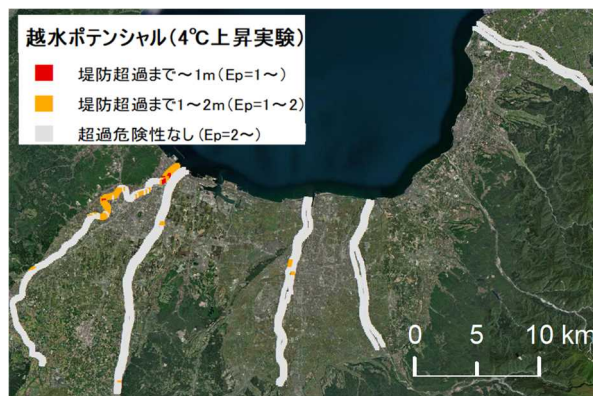


図-2 越水ポテンシャル（4℃上昇実験）

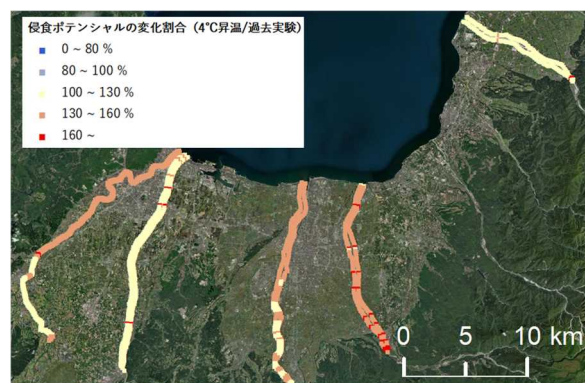


図-3 侵食ポテンシャルの増加割合
(4℃上昇実験)

6. 河道内の植生伐採による影響評価

対象河川において、一次元不定流計算を行い、植生伐採前後の越水ポテンシャルと侵食ポテンシャルの評価を行った。植生が繁茂している状態はNDVI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で表現し計算を実施した。

一例として、4℃上昇時の越水ポテンシャルの変化を図-4に示す。植生伐採前後における水位変化では、小矢部川、庄川の下流部と中流部、神通川、常願寺川・黒部川の下流において水位の減少が確認できた。

特に、小矢部川の蛇行部と上流部、常願寺川下流部で植生伐採による効果が大きいと考えられる。また、水位差が生じている地点が多く確認できたが、黒部川、常願寺川上流、庄川上流において水位差が生じない地点が確認できた。この理由として、常願寺川と黒部川の河床勾配は対象河川の中でも高く、高水敷まで水が流入していないためであると推測される。黒部川においては、水位差が生じている地点を確認できたが、高水敷に水が流入した地点が一部で存在したためだと考えられる。庄川の上流では、植生の繁茂が確認できないため、水位差が確認できないと推測される。以上のことから、富山県に

おける河道内の植生伐採は小矢部川を代表に水位の低下をさせることが可能であると考えられる。また流量増加により効果の増加も期待できることから適応策として効果的である。

7. 田んぼダムによる流量低減効果

降雨流出計算に田んぼダムモデルを組み込むことで富山県一級河川の田んぼダムの影響を評価した。田んぼダムモデルは、峠ら⁹⁾のものを使用した。入力降雨には d4PDF より算出した過去実験・2℃上昇実験・4℃上昇実験の150年確率降雨を使用した。田んぼダムの設定に関して田んぼダムの実施率を0%、50%、100%の3段階で評価を行った。

水田の土地利用割合が多い小矢部での田んぼダムによる流量抑制効果を一例として図-5に示す。小矢部川では、4℃上昇で適用率100%で36%の減少となり流量抑制効果が見られた。

田んぼダムによる影響評価として水田の田んぼダム利用率50%、100%における越水・侵食ポテンシャルの変化を評価した。一例として越水ポテンシャルの変化を図-6に示す。この評価は田んぼダム適用率0%に対して50%、100%適用の適用率によって変化した越水・侵食ポテンシャルの評価である。越水ポテンシャルの変化、すなわち水位減少量の評価の結果、水田の土地利用が最も多い小矢部川で水位の低下が見られた。次いで神通川の水位低下が見られた。しかし、庄川・常願寺川・黒部川に関しては水田の土地利用割合がほとんど存在しないため、流量の抑制効果はなく、越水ポテンシャルの変化は見られなかった。侵食の影響の結果、流量が減少する小矢部川で減少が見られた。

以上、田んぼダムについても植生伐採と同様に流量増加につれて水位が低下することが分かった。これは田んぼダムが水田の排水口を縮小することで降雨を貯留する機能であり、降雨が増加しても排水量は制限されるため、貯留量が増加することになる。そのため流量が増加するにつれて水位減少効果が大き

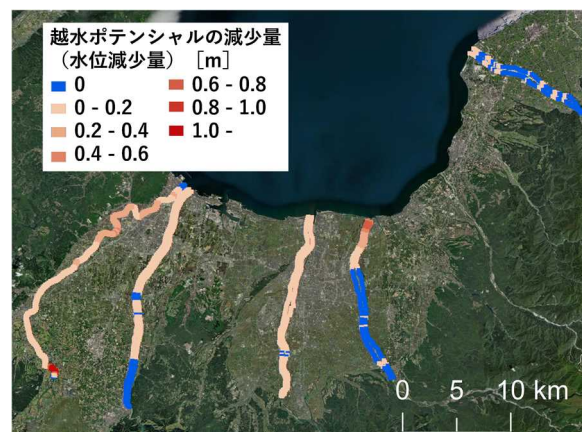


図-4 植生伐採による越水ポテンシャルの変化 (4℃上昇気候)

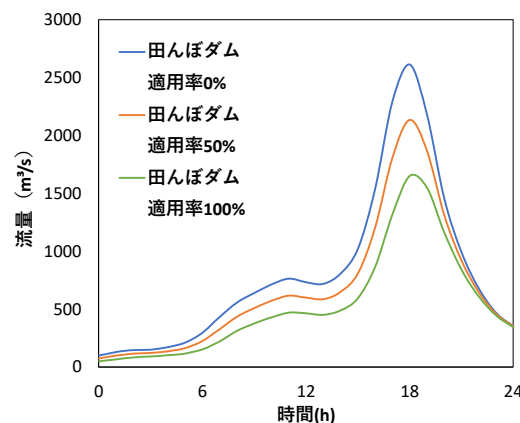


図-5 田んぼダムによる小矢部川の流量抑制効果 (4℃上昇実験)

くなる。以上より、田んぼダムは水田の土地利用割合が高い小矢部川で適用効果があり、神通川についても少なからず効果があることが分かった。また、田んぼダムも植生伐採と同様、流量が増加するにつれて流量抑制効果があることが分かった。しかし、田んぼの許容量にも限界があり、それを含めた評価が今後必要である。

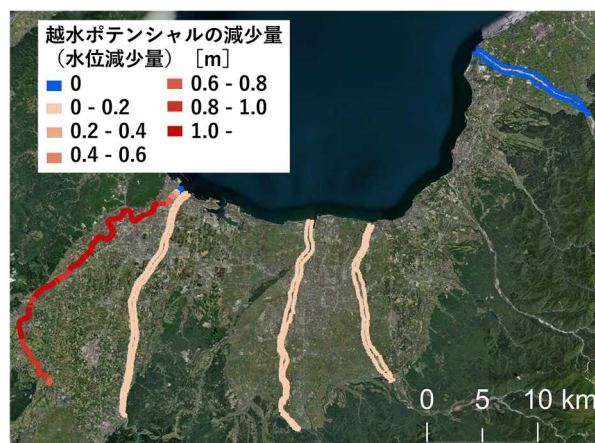


図-6 田んぼダムによる越水ポテンシャルの変化 (4°C上昇気候, 田んぼダム適用率 100%)

8. まとめ

富山県を対象に地球温暖化による将来流量の変化、富山県で効果的とされる適応策の効果算定を

目的に将来気候の降雨量データを SSP 別の将来土地利用を使用して降雨流出計算を実施、河道内の植生伐採と田んぼダムの効果を越水・侵食ポテンシャルの観点から評価した。

将来流量の評価では SSP 別の将来土地利用を含めた評価を行った。将来流量の算定の結果、150年確率流量が2°C上昇で1.1~1.3倍、4°C上昇で1.3~1.5倍となった。また、洪水頻度の変化を評価するため過去実験の1000年確率流量の確率年変化を評価した。

植生伐採の評価では NDVI から算出した粗度係数と伐採を想定して一律 0.03 と粗度係数を設定したパターンで比較を行った。評価の結果、植生繁茂により粗度係数が高く評価された小矢部川と常願寺川河口付近で効果が見られた。また気温が上昇し、流量が増加するごとに水位低減効果が見られた。これは流量が増加することにより、高水敷に乗る河川水が増え、粗度係数変化の影響が強まったためである。このことから地球温暖化による流量増加において植生伐採は有効であると考えられる。

田んぼダムの効果算定では一次元の田んぼダムモデルを適用し、評価を行った。こちらも水田割合が高い小矢部川で効果が見られた。また、田んぼダムにおいても流量が増加するにつれて抑制量が増加することが分かった。これは流量が増加しても排水口を縮小によって、貯留量が増えることになり、抑制効果が上昇したためである。以上、植生伐採と田んぼダムともに小矢部川で効果が発揮されることが分かった。また少なからず植生伐採では常願寺川が、田んぼダムでは神通川で効果を発揮することを示した。

9. 今後の展望

本事業では、地球温暖化への適応策、流域治水オプションとして、田んぼダムおよび河道内植生の伐採を提案し、その洪水低減効果を定量的に評価した。しかしながら、まだ2種類しか検討できていないため、今後は利水ダムの有効利活用、霞堤、上流域の遊水池利用などの評価を行っていく予定である。また、洪水被害額での評価は現在実施中であり、今後は各種適応策の費用分析評価 (B/C 評価) を実施する予定である。

最後に緩和策とのシナジー・トレードオフを評価する手法を開発するとともに、幸福度などを考慮し

た真に北陸地方の人々にとって有益な策を提案できるフレームワークの開発を行う予定である。

なお、本事業報告書の内容は現在学術論文に投稿中⁸⁾である。

参考文献

- 1) 呉修一, 山田正, 吉川秀夫: 表面流の発生機構を考慮した斜面多層降雨流出計算手法に関する研究, 土木学会水工学論文集, Vol.49, B-2, pp.169-174, 2005.
- 2) 環境研究総合推進費 2-1805 成果 (日本版 SSP 別土地利用シナリオ)
- 3) 石川彰真, 呉修一: 富山県河川の地球温暖化による流量と越水・侵食ポテンシャル将来予測, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.77, No.2, I_187-I_192, 2021.
- 4) 土屋修一, 川崎将生, 幕内可南子: 水害リスクラインによる洪水危険度の見える化, 国総研レポート 2019, pp.58. <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryoku/2019report/ar2019hp026.pdf> (2021/6/30 閲覧)
- 5) 八木郁哉, 内田龍彦, 河原能彦: 大規模洪水時における河岸侵食危険箇所に検出法, 河川技術論文集, 第 25 巻, 729-734, 2019 年 6 月.
- 6) 峠嘉哉: 広域に適用可能な一次元田んぼダムモデルの開発と潜在的洪水緩和機能の評価, 2021.
- 7) Yikai Chai, Yoshiya Touge, Ke Shi, So Kazama(2020)” 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.
- 8) 石川彰真, 武田尚樹, 青木明日香, 菊地大智, 呉修一: 富山県河川の地球温暖化による流量変化と適応策による軽減効果, 土木学会水工学論文集 G (地球環境), 投稿中, 2022.

謝辞

本事業は、第 26 回「北陸地域の活性化」に関する研究助成事業の支援を受けて実施されたものである。また、(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(JPMEERF20S11813)からも支援を受けて実施している。使用した河川横断面データは国土交通省北陸地方整備局富山河川国道事務所に提供頂いた。ここに謝意を表す。