

確率降水量と河川氾濫シミュレーションを用いた 姫川・旧猫鼻橋流出時の河川状況の解明

水文気象研究室 学部4年 野々垣修慶
指導教員 陸旻皎

1. はじめに

姫川流域は、豪雨による水害の多発地域である。姫川に沿って走る国道148号線には、大雨に関連する多数の歴史的事象がある。

図1は、葛葉峠周辺における国道148号線の経路変遷を示す。姫川東岸には、1872年～1936年に使用された廃道（以下、明治新道という）がある。旧来の葛葉峠経由は車両通行に不向きであり、猫鼻橋を渡り姫川東岸を通る平坦な明治新道を開削した。しかし、猫鼻橋は洪水により度々流出し、架け替えられていた。表1に示すように、当時の記録より姫川流域では約2年～6年に1度の頻度で甚大な豪雨災害が発生していた。なお大雨の状況は抽象的な表現であるため、降雨イベントは不明である。

そこで、本研究は確率降水量と河川氾濫シミュレーション iRIC を用いて旧猫鼻橋流出時の大雨と河川状況を明らかにする。



図1 葛葉峠と道路の位置関係

表1 姫川流域の水害一覧

西暦	災害の種類	発生地・詳細
1902年	洪水	姫川
1910年	洪水、水害	姫川沿岸一帯
1912年	大豪雨、被害	姫川沿岸一帯
1923年	豪雨、洪水、流失	姫川、北小谷村東馬地区
1934年	降雨、堤防決壊	平川
1940年	豪雨、河川氾濫	平川、松川
1940年	雷雨、泥土流出、姫川せき止め	風吹岳
1957年	集中豪雨、河川氾濫	谷地川、木滝川
1959年	河川氾濫、築堤決壊	平川、松川、大糸線中土・北小谷間
1959年	台風15号、堤防決壊	松川
1961年	梅雨前線による豪雨、各地で被害	各地
1965年	台風24号、氾濫	糸魚川市
1969年	豪雨、洪水	姫川
1970年	護岸決壊、洪水	糸魚川市
1970年	豪雨、洪水、橋梁落下	白馬村の水神宮橋
1981年	増水、小谷橋決壊	姫川
1981年	台風15号、土砂災害	濁沢、白井沢、中殿川ほか
1984年	集中豪雨、被害・氾濫	白馬村東部、小谷村横根沢・東観沢
1995年	梅雨前線豪雨、土石流、がけくずれ	小谷村、糸魚川市

2. 研究計画

本研究で対象地域は、姫川流域の葛葉峠周辺である。旧猫鼻橋は葛葉峠の南、蒲原沢との合流部に位置していたとされる。当時の橋梁構造は不明である。

本研究は文献調査および現地踏査、姫川流域を代表する確率降水量の算出、iRICを用いた河川氾濫シミュレーションの順に行った。

2.1 文献調査及び現地踏査

本研究では、航空写真上の二次元的な情報に対し、三次元的な地形状況を補完するため、徒歩による現地踏査を実施した。図2は1950年に米軍により撮影された空中写真に文献をもとに推定した明治新道の痕跡を加筆した。現地踏査は葛葉峠を境として平岩側と蒲原沢側でそれぞれ行った。踏査方法は現場調査（平岩側）と遠方目視（蒲原沢側）である。図3は、平岩側の大綱橋付近で行った現地踏査の記録を示す。図中の文章は、文献調査により得た内容を基に加筆した。現地踏査より、旧猫鼻橋付近の現地のスケール感、河道と明治新道の位置関係を把握した。これらは、iRICによる河川氾濫シミュレーションにおける最大水深分布を評価し、文献上の「流出」という事象を検証する際の重要な基礎資料となる。

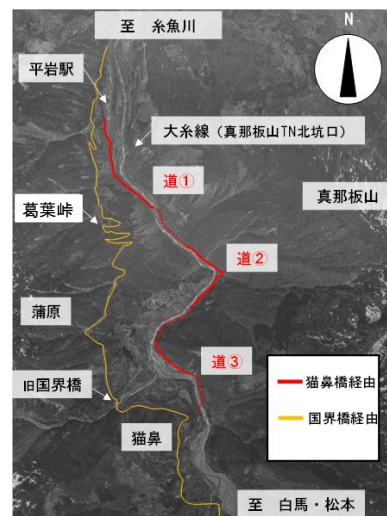


図2 航空写真（1950年）と新旧経路図

2.2 確率降水量について

表 2 は、姫川流域を代表する確率降水量の算出に用いた気象庁の気象観測所の観測期間である。観測点数は計 7 点である。なお本報で定義する確率降水量は日最大 1 時間降水量、日積算降水量とそれぞれの再現期間である。最も長い観測期間は、糸魚川の 48 年間(1976 年～2024 年)である。

本解析は、野々村善民教授らが提唱する手法を用いる。本方法は、複数の観測地点における降水量データを統合し、地域としての特性を反映させた“Fデータ”を作成するものである。具体的には、複数地点の降水量データより各年の最大値を抽出し、それらを降順に並べ替えて超過確率を算出する。この F データに対し、年超過確率の近似式を用いて特定の再現期間に対応する降水量を算出する。これにより、特定の地点に限定されない、地域を代表する確率降水量の算出が容易となる。

本研究ではこの手法に基づき、Excel (VBA) により解析プログラムを実装した。経年変化の抽出にあたっては、解析期間を 10 年間とし、年数を解析期間の中間年(例：1981 年は 1976 年～1985 年の値)で示す手法をとった。また、明治・昭和初期の歴史的事象を検討するため、姫川流域の 7 観測点に加え、「新潟」「富山」「長野」の 3 地点を追加した「姫川流域+α」の広域データを構築し、1900 年以降の長期的な経年変化を推定した。



図 3 現地踏査の様子(大網橋周辺)

表 2 各観測点の観測期間

地点	観測期間
糸魚川	1976年1月1日～2024年12月31日
関山	1976年4月19日～2024年12月31日
鬼無里	1977年6月29日～2024年12月31日
白馬	1976年4月9日～2024年12月31日
小谷	1983年10月13日～2024年12月31日
平岩	1978年11月10日～2024年12月31日
能生	1976年4月21日～2024年12月31日

2.3 流出解析について

図 4 は、iRIC による解析範囲を示す。流出解析は、iRIC の Nays 2D Flood を用いた。表 3 は解析条件である。

流出解析にあたっては、確率降水量の解析結果に基づき、降雨の集中度合が河川水位に与える影響を比較するため、集中型と平均型の 2 種類の降雨パターンを設定した。また、解析上流端の境界条件は合理式を用いて算出した設定流量を用いる。この際、流達時間は 2 時間としている。解析領域の設定にあたっては、iRIC 上で格子データを作成した。解析領域は 2313m×600m、格子サイズは 30.0m である。計算実行時の条件として、流移項の差分方法には風上差分法を採用し、マンニングの粗度係数は 0.035 に設定した。初期状態の水深はゼロとし、自然流出の境界条件の下で 24 時間の計算を実行した。

また、明治新道と河床の位置関係を把握するため、1950 年に撮影された航空写真、国土地理院色別標高図および現在の地形データを用いた。その結果、旧猫鼻橋付近における河道から道路面までの比高は約 30m であると判断し、これを「流出」の判断基準となる橋下高さの仮定値とした。



図 4 iRIC による解析範囲

表 3 iRIC の解析条件

No.	事項	内容
1	使用したソフト	iRIC(Nays2DFlood)
2	解析の対象地域	新潟県・長野県境の姫川流域
3	流移項の差分方法	風上差分法
4	マンニングの粗度係数	0.035 [m ^{-1/3} ・s]
5	解析領域側方の境界条件	自然流出
6	初期水面	水深ゼロ
7	降雨条件	設定した降雨パターン
8	解析領域	2313m × 600m
9	空間メッシュ数	1617 [個] = 76 × 20
10	格子サイズ	30m × 30m

3. 解析結果

3.1 年最大1時間降水量の経年変化について

図5は、姫川流域における年最大1時間降水量 Y_1 の経年変化を示す。本解析では、流域内の気象観測所7地点の観測値を用いた。

解析の結果、 Y_1 は長期的に増加傾向を示しているものの、年ごとの変動が極めて大きく、直線近似による決定係数は低い値に留まった。1年単位の最大値である Y_1 は気象の偶発的な変動が強く反映されるためであると考えられる。したがって、流域の降雨特性をより安定的に評価するためには、統計的な処理を加えた確率降水量による解析が必要となる。

3.2 日最大1時間降水量について

過去の文献によれば、姫川流域では約2~6年に1回の頻度で甚大な豪雨災害が発生していた。この歴史的な事象から、大雨の再現期間を2年間および6年間と設定した。図6は、1976年~2024年の姫川流域における確率降水量を示す。解析の結果、姫川流域において2年に1回発生する日最大1時間降水量 S_2 は49mm/hであり、6年に1回発生する S_6 は58mm/hであった。

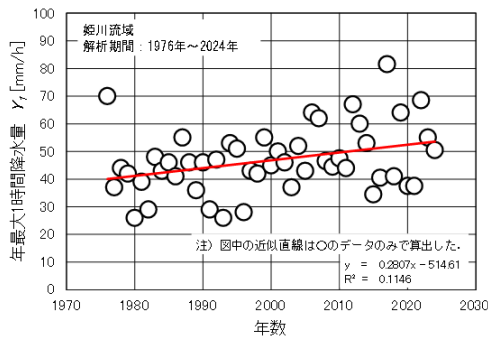


図5 年最大1時間降水量 Y_1 の経年変化

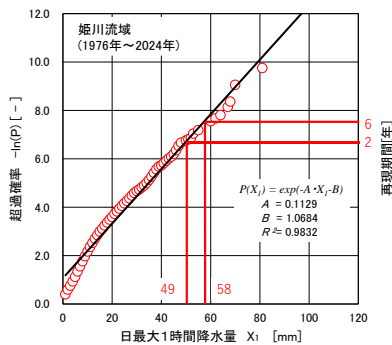


図6 1976年~2024年の日最大1時間降水量

次に、 S_2 および S_6 の経年変化を解析した。解析期間は10年間とし、年数は解析期間の中間年で示している。図7に示すように、姫川流域の観測所7地点における S_2 の経年変化は極めて高い相関関係を示し、近似直線の決定係数は0.834であった。解析の結果、1981年の S_2 は44.0mm/hであり、2011年は53.0mm/hであった。

以上より、姫川流域における日最大1時間降水量は1900年以降一貫して増加傾向にあり、その値は近似式を用いて推定可能であることが明らかとなった。本研究では、猫鼻橋流出の頻度を2年とし、1981年時点の代表値である44.0mm/hをシミュレーションの基準として採用する。

3.3 日積算降水量について

図8は、1976年~2024年の姫川流域における日積算確率降水量を示す。解析の結果、姫川流域において再現期間2年の日積算降水量 $S_{D,2}$ は125mm/day、 $S_{D,6}$ は147mm/dayであった。次に姫川流域における $S_{D,2}$ の経年変化を解析した。解析の結果、日最大1時間降水量とは異なり、 $S_{D,2}$ の経年変化はすべての解析期間を通して概ね一定であることが分かった。

以上より、本研究で対象とする歴史的な事象の再現期間を2年とし、シミュレーションに用いる日積算降水量 $S_{D,2}$ は解析期間全体を通して得られた代表値である125mm/dayを採用することとした。

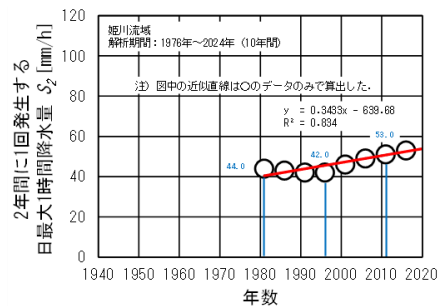


図7 S_2 の経年変化

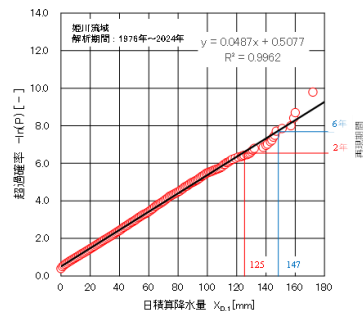


図8 1976年~2024年の日積算降水量

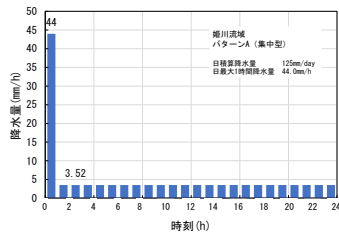


図9 パターン A

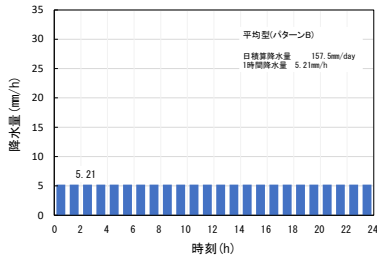


図10 パターン B

3.4 iRIC 河川氾濫シミュレーションについて

本解析の境界条件となる設定降水量は、算出した確率降水量の解析結果を直接採用した。具体的には、再現期間 2 年の日積算降水量 $S_{D,2}$ の 125mm/day を総降水量として規定した。図 9 に示すパターン A は、ピーク強度として、 S_2 の推定値である 44.0mm/h を組み合わせた短時間集中型モデルである。図 10 に示すパターン B は、総降水量を一様に配分した平均型モデルとして設定した。境界条件となる流量の算定には合理式を用いた。姫川の河床勾配は 1/90 に匹敵する急流河川であり、クラークの式を用いた流達時間は 2 時間として設定した。また、粗度係数は野々村らの先行研究に基づき、自然河道に近い状態を示す 0.035 を採用した。

図 11 および図 12 は、それぞれの降雨パターンの解析結果を示す。解析の結果、最大水深の発生地点は降雨パターンによって大きく異なる。パターン A においては、旧猫鼻橋付近において最大水深 30.60m を記録した。パターン B の最大水深は 25.92m にとどまり、最大水深地点も解析領域上流側の北小谷周辺に位置することが分かった。

以上の結果は、姫川の地形的狭窄部における水位上昇が、総雨量よりもピーク強度に対して極めて敏感に反応することを示している。特に、パターン A において算出された水深 30.60m は推定した当時の橋下高さを上回るものである。このことは、約 2 年に 1 度の頻度で発生し得る降雨条件が、猫鼻橋を流出させる状況を作り出していたことを裏付けている。



図11 最大水深分布図 (パターン A)

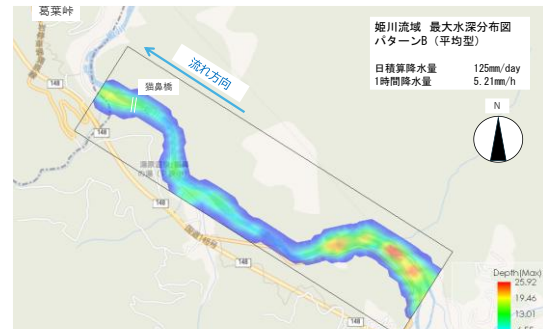


図12 最大水深分布図 (パターン B)

4. まとめ

以下に本研究で得られた成果を示す。

- ① 姫川流域を代表する日最大 1 時間降水量 S_2 は、過去から現在にかけて増加傾向であることが分かった。経年変化は直線近似で示すことができ、これを用いて過去と未来の S_2 が予測できることが分かった。
- ② 姫川流域を代表する日積算降水量 $S_{D,2}$ は、概ね一定の範囲内で推移していることが分かった。本稿では日積算降水量を 125mm/day の一定値として扱った。
- ③ 確率年 2 年の日最大 1 時間降水量 44.0mm/h と日積算降水量 125mm/day を用いた短時間集中型の場合、姫川の水深は 30.6m に達した。以上より大雨による猫鼻橋の流出は、約 2 年に 1 度の頻度だったと考えられる。

参考文献

- 1) 白馬小谷研究会：白馬小谷研究—特集・千国街道—, 第 14 号, 1985.
- 2) 小谷村誌編さん委員会：小谷村誌歴史編・社会編, 小谷村, 1993.
- 3) 野々垣修慶ら：砂防堰堤の建造年数と確率降水量を用いた堂々川の流出解析に関する研究, 第 45 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, pp.353-356, 2022.12