様式 7-2

近畿建設協会研究助成報告書

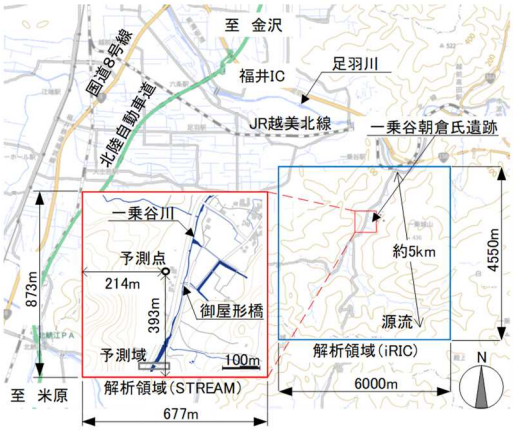
# 戦国時代の一乗谷川における外水氾濫の再現期間と水害対策の解明

福井工業高等専門学校　環境都市工学科　教授　野々村善民

## 1.　研究の目的

図1に示すように，戦国武将朝倉氏の城下町一乗谷の所在地は福井県福井市である．この一乗谷は山に囲まれ，水害が生じやすい一乗谷川沿いの谷間にある．福井県立一乗谷朝倉氏遺跡資料館（以下，資料館）による遺跡調査から，過去の外水氾濫は 1573 年の朝倉氏滅亡直後に 1 度あったことがわかった．また，戦国時代の一乗谷川（以下，旧一乗谷川）の河川断面の主要寸法が明らかになった．資料館による遺跡調査結果のみでは，旧一乗谷川で生じた氾濫時の降水量などの気象条件は不明である．

そこで，本研究は河川氾濫シミュレーション（解析ソフト；iRIC，STREAM）と現在の気象データを用いて，1573 年の朝倉氏滅亡直後の氾濫時の降水量と氾濫の再現期間を明らかにすることを目的とする．




(1)　解析領域の配置図

(2)　朝倉館跡と復原町並の様子

図1　福井市一乗谷の所在地

## 2.　研究の方針

戦国時代などの過去における河川氾濫の予測事例は極めて少ない．これは，従来の遺跡調査が日本国内の過去に発生した地震の被害状況を明らかにすることを主な目的としたことによる．そこで，本研究の特色は，福井県一乗谷川流域において発掘された遺跡調査資料を用いて，戦国時代に発生した河川氾濫の状況を予測することである．これまで，朝倉氏資料館はこれまでに大量に蓄積した遺跡調査資料を保有している．これらの遺跡調査結果と氾濫解析の結果を活用して，本研究は戦国時代の城下町における外水氾濫の再現期間を予測することを目標とする．

これまでの国内における河川氾濫解析の研究開発については，根元らは流出解析と氾濫解析を組み合わせて，1582 年，岡山県の備中高松城水攻めで造られた堤防の規模について検討した[文献1)]．

また，根元らは流体数値シミュレーションを用いて，山梨県の御勅使川における信玄堤の治水能力を明らかにしている[文献2)]．以上の２つの研究例では，過去の河川氾濫による水の流れを現在の気象データと流体数値シミュレーションを用いた予測手法は学術的に有効であることがわかった．

そこで，本研究は考古学の遺跡調査と建設工学で活用されている河川氾濫解析を結びつけることを将来の展開する．写真1に示すように，朝倉氏資料館は遺跡調査に基づき一乗谷遺跡公園内に立体復原町並を再現し，その中で石垣と土塀が忠実に再現されている．石垣の高さは約１ｍであり，この石垣の機能は一乗谷川から氾濫した水を防ぐものであると考えられる．よって，この石垣の高さに氾濫した水が到達した場合の一時間降水量を予測することで，外水氾濫の再現期間が推定できる．

(1) 土塀の石垣

(2) 武家屋敷の入口

写真1　復原町並の様子

**[参考・引用文献]**

1) 根元裕樹，泉　岳樹，中山大地，松山　洋：備中高松城水攻めに関する水文学的研究　―洪水氾濫シミュレーションを用いて―，地理学総論 86-4，pp. 315-pp. 337，2013 年
2) 根元裕樹，中山大地，松山　洋：洪水氾濫シミュレーションを用いた信玄堤の治水能力の再評価　―御勅使川沿いの治水施設群に着目して―，地理学総論 84-4，pp. 553-pp. 571，2011 年，2019 年

## 3. 研究計画

本研究は２種類の流体数値シミュレーションを用いて広域モデル解析と狭域モデル解析を実施した．ここでは本研究で用いた 2 種類の解析方法について記す．広域モデル解析は iRIC（Nays2DFlood）を用いて，一時間降水量と河川流量を予測する．広域モデル解析の結果は狭域モデル解析の境界条件とする．狭域モデル解析では，水の流れは旧一乗谷川流域を再現した 3D 地形モデルと STREAM の MARS 法（Multi-interface Advection and Reconstruction Solver）を用いて，河川からの氾濫水の水深を予測する．

図1に示すように，解析領域のほぼ中心に一乗谷川がある．一乗谷周辺で降った水は南側の源流から北側の足羽川に向かって流れる．図中の青枠は iRIC による広域モデル解析で設定した解析領域である．この解析領域の範囲は東西方向 6000m および南北方向 5060m である．

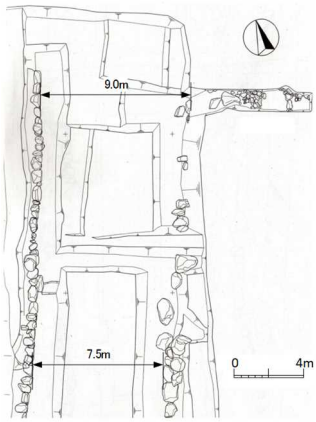
図中の予測点は旧一乗谷川西岸における復原町並に位置する．図中の赤枠は STREAM による狭域モデル解析で設定した解析領域である．この解析領域の左下が座標の原点である．予測点は東西方向に 214m，南北方向に 393m の座標に位置する．

図2(1)は資料館の遺跡調査で明らかになった旧一乗谷川の平面図の一部である．川幅は 7.5m～12m であった．図2(2)は旧一乗谷川の断面図である．堤防の高さは 3m～4m であった．iRIC で入力した旧一乗谷川の河川断面は川幅 20m，高さ 1.125m とした．また，舟の停泊に使用していた大型の杭が出土した．

なお，戦国時代の一乗谷における物流の手段は和舟であった．当時の和舟は平底であった．そのため，浅い水深であっても，川の行き来は可能であった[文献3)，4)]．このように，旧一乗谷川の河川断面は現在の一乗谷川の場合と比べて小さいものであった．

表1は iRIC による広域モデル解析の主な条件を示す．本研究で用いた iRIC の空間メッシュ数は 27.3 万個である．メッシュのサイズは 10m×10m である．そのため，旧一乗谷川の川幅は２つ以上のメッシュで再現した．

戦国時代の降水量はこれまでに発掘された遺跡資料などで確認できない．そのため，iRIC に入力する降雨量モデルは 2008 年 7 月 8 日に福井地方気象台で計測された大雨時の降水量を用いて算出した．




(1) 旧一乗谷川の平面図

(2) 旧一乗谷川の断面図

図2 旧一乗谷川の河川断面

表1 iRIC による広域モデル解析の主な条件

| No | 事 項 | 内 容 |
|---|---|---|
| 1 | 使用したソフト | iRIC(Nays2DFlood) |
| 2 | 解析の対象地域 | 福井県福井市の一乗谷川流域 |
| 3 | 地形データ | 国土地理院 基盤地図情報 数値標高モデル<br>10m メッシュ 533672,533673,543602,543603 |
| 4 | 流移項の差分方法 | CIP 法 |
| 5 | マニングの粗度係数 | 0.035 [$m^{-1/3}$ ・s] |
| 6 | 解析領域側方の境界条件 | 自然流出 |
| 7 | 初期水面 | 水深ゼロ |
| 8 | 降雨条件 | 2008 年 7 月 8 日 福井地方気象台の観測値 |
| 9 | 解析領域 | 6000m×4550m |
| 10 | 空間メッシュ数 | 273000 [個] = 600 × 455 |
| 11 | 格子サイズ | 10m×10 m |

表2は STREAM の主な解析条件を示す．本研究で用いた STREAM の空間メッシュ数は約 337.6 万個である．そのため，100 秒後の水の流れを解析するために要する時間は約 24 時間であった．使用した解析 PC の CPU は Intel Core i9-10900X（3.7GHz 10 コア）であり，内部メモリは 64GB である．STREAM のソルバーで用いたコア数は 8 コアである．

図3は降雨量モデルであり，計測間隔は 10 分間である．図中の降水量は，10 分間の積算降水量を 1 時間の積算値で基準化したものである．

図4は旧一乗谷川流域を再現した 3D 地形モデルである．旧一乗谷川における主な河川断面は 9m×4m である．旧一乗谷川流域の 3D 地形モデルは，表 1 に示す数値標高モデルを基に作成した．河川断面の高さは河床の標高を上昇させ，3.5m～4.0m とし，川幅は 12m 以下となるように調整した．

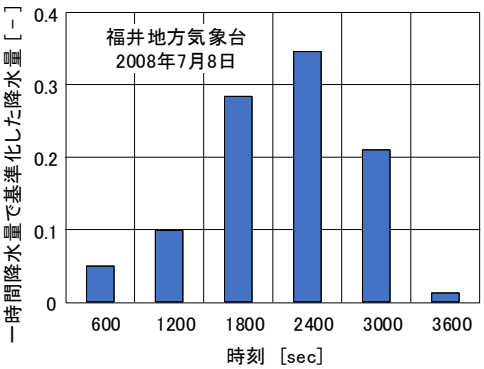



図3 降雨量モデル

表2 STREAM による狭域モデル解析の主な条件

| No. | 事 項 | 内 容 |
|---|---|---|
| 1 | 流体領域 | 空気（非圧縮，20℃），水（非圧縮，20℃） |
| 2 | 水の計算方法（自由表面） | 非定常解析<br>MARS 法（Multi-interface Advection and Reconstruction Solver） |
| 3 | 自由表面の圧力の補正方法 | SIMPLER 法 |
| 4 | 自由表面の壁面上の接触角（全体） | 15 度 |
| 5 | 解析領域 | 677m×873m×200m |
| 6 | 空間メッシュ数 | 3,376,666 個（113×134×223） |

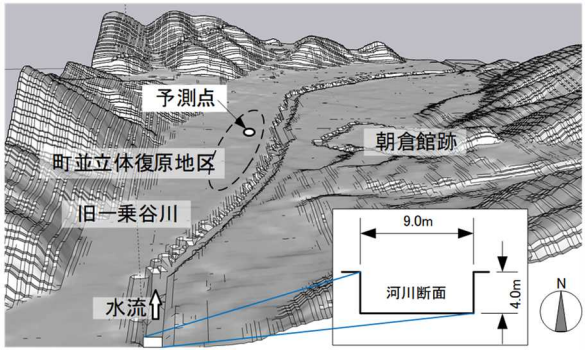



図4 旧一乗谷川流域の3D 地形モデル（SketchUp Pro 2021 で作成）

図5は，*Fa* データの作成に用いた福井県とその周辺の 20 点の観測点の位置を示す[文献5)]．*Fa* データは福井県とその周辺における 20 点の観測点の日最大 1 時間降水量 $X_1$ から最大値を選択して作成したデータである．

図6は，*Fa* データの日最大 1 時間降水量 $X_1$ の超過確率 $P$ を示す．図中には，確率分布に当てはめた場合の超過確率と再現期間を示す．図中の近似曲線の決定係数 $R^2$ は 0.9894 であり，観測値と近似曲線の関係は高い相関を示す．*Fa* データの再現期間 100 年の $X_1$ は 103[mm]となる．なお，福井地方気象台の再現期間 100 年の $X_1$ は 74[mm]となる．以上から，福井県内において計画する建設構造物の設計雨量を *Fa* データから算出した場合，その値は安全側となる．

図5 *Fa* データの作成に用いた各観測点の配置図（福井県とその周辺の 20 点）[文献5)]

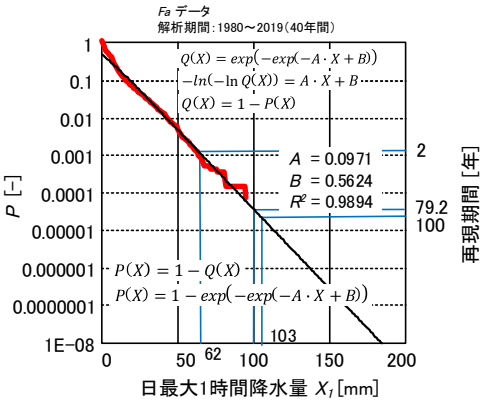



図6 *Fa* データの確率降水量

**[参考・引用文献]**

3) 岩本才次：昔の日本の船事情，日本航海学会誌 164 巻，pp. 24-46，平成 18 年（2006 年）6 月

4) 京都市：22 高瀬川，2009 京都市（制作 京都市歴史資料館）ver. 1. 10，2009 年

5) 岸本拓海，野々村善民，島脇優里，達川宙輝：福井県における確率降水量に関する研究（その１） 複数の 1 時間降水量データの相関性に関する検討，日本建築学会・情報システム技術委員会 第 43 回情報・利用・技術シンポジウム 2020 論文集，pp. 308-311，令和 2 年（2020 年）12 月 7 日

## 4. 解析結果

### 4.1. iRIC による広域モデル解析の結果

図7は旧一乗谷川における最大水深の分布である．この時の１時間降水量が 100㎜ である．旧一乗谷川の源流が複数存在し，一乗谷周辺に降った雨水が一乗谷川に集まっていることがわかる．

図8は旧一乗谷川における１時間降水量と最大流速の関係を示す．１時間降水量は 50㎜，100㎜ および 150㎜ の３ケースである．図中の最大流速は旧一乗谷川の予測域の中心における予測値である．図に示すように，１時間降水量と最大流速は比例関係であることがわかる．

図9は旧一乗谷川の予測域における最大水深の分布である．この時の１時間降水量は 50㎜ である．図中の横軸のマイナス側は旧一乗谷川の西岸である．

図 10 は旧一乗谷川における１時間降水量と流量の関係を示す．流量は空間メッシュの流速，メッシュ幅および水深を乗じたものである．図に示すように，１時間降水量と流速は比例関係であることがわかる．

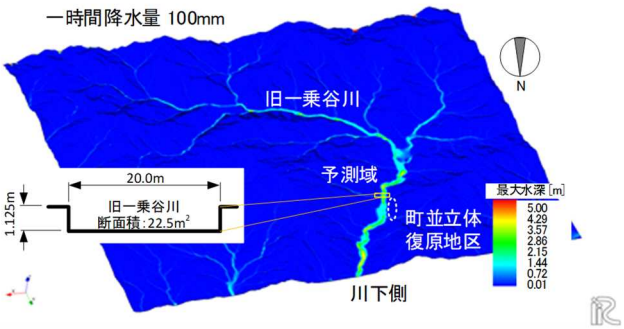



図7 1時間降水量 100mm の最大水深の分布
（iRIC による広域モデル解析）

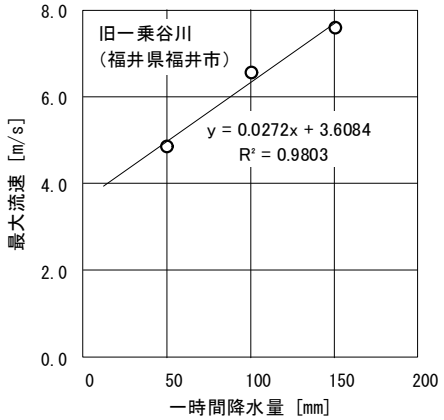



図8 予測域における1時間降水量と
最大流速の関係 （iRIC による広域モデル解析）

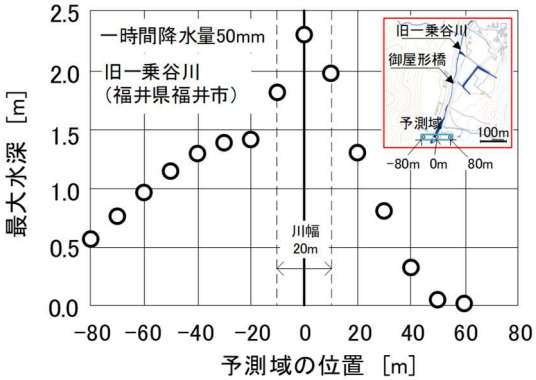



図9 予測域における最大水深の分布
（iRIC による広域モデル解析，1時間降水量 50mm）

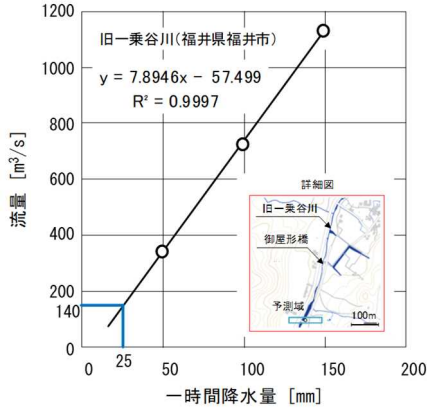



図 10 1時間降水量と旧一乗谷川の流量の関係
（iRIC による広域モデル解析）

### 4.2. STREAM による狭域モデル解析の結果と外水氾濫の再現期間

表3は狭域モデル解析の入力条件の一部である．これは広域モデル解析の結果を用いて，旧一乗谷川の流量を設定したものである．狭域モデル解析で用いた吐水面は図５の解析領域の川上面に設定した．吐水面の幅は9m とし，吐水面の流速は図８から算出した．吐水面の流量は図 10 から算出し，吐水面の高さは上記の幅と流速で除したものである．解析時間は100sec とした．なお，解析時間が 100sec 以上であっても，予測点の水深は，概ね同じであった．

図 11 はケース B の旧一乗谷川における最大水深の分布を示す．この時の１時間降水量は 50mm である．雨の降り始めからの経過時間は 30min～40min に相当する．旧一乗谷川から氾濫した水は西岸に到達している．

図 12 はケース A～D の旧一乗谷川の西岸にある予測点における１時間降水量と水深の関係を示す．図中に示すように，１時間降水量と流速は比例関係であることがわかる．写真１に示す石垣高さ 1m に達する１時間降水量は 42mm となることがわかる．

表3 狭域モデル解析の入力条件（一部）

| ケース名 | | A | B | C | D |
|---|---|---|---|---|---|
| 1時間降水量 | [mm/h] | 25 | 50 | 100 | 150 |
| 吐水面の幅 | [m] | 9 | 9 | 9 | 9 |
| 吐水面の幅 | [m] | 9 | 9 | 9 | 9 |
| 吐水面の高さ | [m] | 3.6 | 7.5 | 12.9 | 16.3 |
| 吐水面の流速 | [m/s] | 4.3 | 5.0 | 6.3 | 7.7 |
| 吐水面の流量 | [$m^3$/s] | 139.9 | 337.2 | 732.0 | 1126.7 |

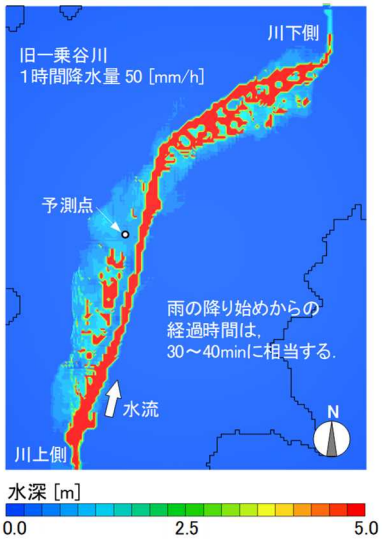



図 11 旧一乗谷川流域における水深分布
（STREAM による狭域モデル解析）

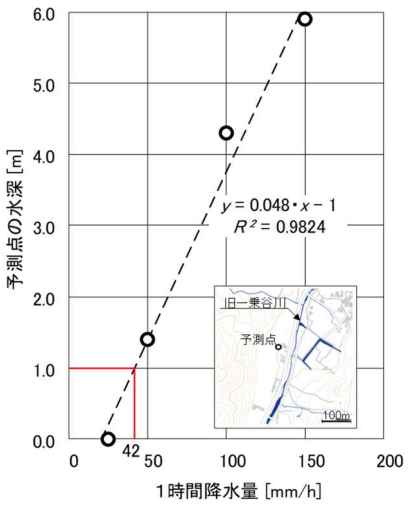



図 12 予測点における1時間降水量と水深の関係
（STREAM による狭域モデル解析）

図 13 は *Fa* データを用いて作成した福井県における日最大１時間降水量の超過確率と再現期間を示す．図中に示すように１時間降水量 42㎜ の超過確率は 0.96%であることがわかる．つまり，この大雨は毎年発生し，１年間の発生日数は 3.5 日となる．

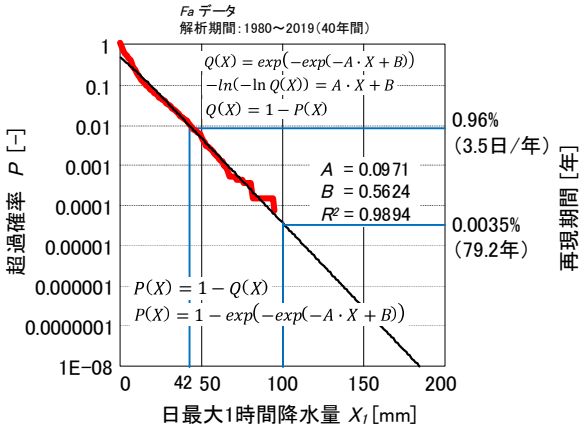



図 13 福井県における日最大1時間降水量の再現期間

## 5. まとめ

本研究は 1573 年の朝倉氏滅亡直後の氾濫時の降水量と外水氾濫の再現期間を明らかにし，以下に得られた知見を示す．

① 一乗谷川の西岸にある復原町並の石垣の高さは地面から約１ｍである．この高さに水が達する場合の１時間降水量は 42mm であることがわかった．

② 戦国時代の一乗谷において，復原町並の土塀の石垣は氾濫した水の備えであると想定した場合，外水氾濫は１年間で 3.5 日発生することがわかった．

以上から，一乗谷川の西岸にある復原町並における石垣の高さから外水氾濫の再現期間を逆算した結果，戦国時代の一乗谷川は頻繁に氾濫していることがわかった．

今後，資料館による遺跡調査は地震との関連性に加えて，外水氾濫の痕跡にも着目して実施される．これにより，考古学の研究分野において新たな知見が得られ，一乗谷朝倉氏遺跡に対する関心が国内外で高まるものと考えられる．

**6. 研究成果**

本研究の実施期間において得られた研究成果を以下に示す.

1）野々村善民，島脇優里，萩原春親：戦国時代の一乗谷川における外水氾濫に関する研究　考古学的資料に基づく 3D モデルの作成と河川氾濫解析，日本建築学会・情報システム技術委員会　第 44 回情報・利用・技術シンポジウム 2021 論文集，pp.161-166，2021 年 12 月

2）中村彩乃，野々村善民，萩原春親：福井県高浜町の小生川流域における外水氾濫の予測，日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道），2022 年 9 月（投稿予定）

3）吉森洋子，野々村善民，萩原春親：伊勢湾における確率降水量に関する研究　日最大一時間降水量の超過確率の検討，日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道），2022 年 9 月（投稿予定）

4）寺前海斗，野々村善民，萩原春親：写真測量を用いた一乗谷朝倉氏遺跡の復元街並の再現，日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道），2022 年 9 月（投稿予定）

5）野々垣修慶，野々村善民，萩原春親：写真測量を用いた建設構造物の 3D モデルの再現方法，日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道），2022 年 9 月（投稿予定）

6）野々村善民，寺前海斗，萩原春親：戦国時代の一乗谷における上城戸の水流の予測，日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道），2022 年 9 月（投稿予定）