

戦国時代の備中高松城水攻め時の降雨イベントに関する研究

Research of Rainfall Event during the Artificial Flooding at Bicchutakamatsu Castle in Sengoku Periods

○野々村 善民^{*1}, 寺前 海斗^{*2}, 萩原 春親^{*3}

Yoshitami NONOMURA^{*1}, Shito TERAMAE^{*2} and Haruchika HAGIWARA^{*3}

*1 福井工業高等専門学校 環境都市工学科 教授 博士(工学)

Professor, National Institute of Technology, Fukui College, Dr.Eng.

*2 福井工業高等専門学校 環境都市工学科 本科生

National Institute of Technology, Fukui College, Student

*3 株式会社サンワコン 空間情報部

Spatial Information Department, SANWACON Co., Ltd

Summary: This research is intended to clarify the rainfall event that occurred at the time of artificial flooding as Bicchutakamatsu Castle in 1582. The past rainfall event was set using the calculation results of the rainfall duration, the daily accumulated precipitation and the daily maximum precipitation of 1 hour to occur once in one year using long-term precipitation data recorded by Japan Metrological Agency. The precipitation data used in this paper are the numerical maximums measured simultaneously in 8 observation points in Okayama City and its surrounding areas on the northern side of the Seto Inland Sea. When the analysis period is set to 10 years, it was found that the daily accumulated precipitation in 1976 was 100.6mm/day, while in 2023 it was 116.5mm/day. According to this study, it was found that the daily accumulated precipitation tends to increase proportionally with the number of years observed. In this study, runoff analysis was conducted using the input condition of a daily accumulated precipitation as 100.6 mm/day. The predicted results of the elapsed time until the water depth reaches 0.5m in the vicinity of Bicchutakamatsu Castle ranged from 11.2 hours to 16.5 hours.

キーワード: 戦国時代; 備中高松城水攻め; 確率降水量; 日積算降水量; 流出解析

Keywords: Sengoku periods; Artificial flooding at BicchuTakamatsu castle; Probability precipitation;
Daily precipitation; Flood runoff analysis

1. はじめに

近年の地球温暖化により、各地方気象台の年最大1時間降水量は増加する傾向にある。そのために、内水氾濫が発生する恐れのある市街地は国内に多数存在する。市街地における内水氾濫は地域内に設置された排水ポンプの性能を超える雨が降った場合に発生する。つまり、市街地における既存の排水ポンプの多くは数十年前に計画されたため、過去に設定された設計雨量は現在の降水量と比べて小さくなっている。以上から、地域に応じた内水氾濫の発生状況を解明するために、過去の気象データを用いて実務に対応した大雨時の降雨イベントの設定が必要とされている。

これまでに降水量と人為的な内水氾濫の関係を検討した研究例として、根元らは洪水氾濫シミュレーションを用いて戦国時代の備中高松城水攻め時に建造された人工堤防の規模を明らかにした。この時に用いられた降雨イベントは「備中高松では、1日にして大洪水が起こり、1

日にして引く」という証言に基づいて設定された。具体的には、岡山市内の足守雨量観測所において観測された過去の6月の典型的な時間平均雨量2.7mm/hを与え、降雨の継続時間を24時間とした¹⁾。このように、大雨に関する再現期間などは未検討であった。

なお、単独の気象観測所において記録された雨量データをを用いた場合、大雨の再現期間は実態に合わないことが筆者らによって報告され、神戸地方気象台を含む大阪湾の沿岸地域を代表する確率降水量の算出方法が提案された²⁾。ここで言う確率降水量は日最大1時間降水量とその再現期間である。

そこで、本研究は岡山市とその周辺を研究対象として、地域を代表する確率降水量などを明らかにすることを一連の研究として位置付けた。また、本研究は流出解析を用いて降水量と河川流量の関係を予測し、歴史的事実に基づく降雨イベントを明らかにすることを目的とする。

また、本研究の新規性は、過去の気象データを用いて

表1 記号表

記号	説明
KT_i	1年間に1回発生する降雨の継続時間, 単位 hour
S_i	1年間に1回発生する日最大1時間降水量, 単位 mm/h
SR_i	1年間に1回発生する日積算降水量, 単位 mm/day
R^2	決定係数, 単位 -
X_i	1時間降水量, 単位 mm/h
Y_i	年最大1時間降水量, 単位 mm/h
P	超過確率, 単位 -
H	水深, 単位 m
$T_{0.5}$	水深が0m から0.5mに達するまでの所要時間, 単位 hour



図1 観測点の配置図

瀬戸内岡山における 日最大1時間降水量 [mm/h]					各観測点における 日最大1時間降水量 [mm/h]				
年	月	日	最大値		岡山	福山	姫路	笠岡	倉敷
2017	1	7	0		0	0	0	0	0
2017	1	8	6		6	3	1	3	3
2017	1	9	0		0	0	0	0	0
2017	1	10	0		0	0	0	0	0
2017	1	11	0		0	0	0	0	0
2017	1	12	0		0	0	0	0	0
2017	1	13	0		0	0	0	0	0

図2 複数の観測点を用いて日最大1時間降水量の発生頻度の作成方法(イメージ図)

1年間で1回発生する降雨の継続時間、日積算降水量と日最大1時間降水量を明らかにし、更に未来の大雨の状況を予測することである。なお、1年間で1回発生する大雨の状況を流出解析の入力条件として、本報は戦国時代の備中高松城水攻め時の水深分布などを検討する。

2. 研究計画

本研究で対象とする地域は瀬戸内海北側における岡山市とその周辺である。備中高松城跡は岡山市の北西側に位置する。表1は本報で扱う記号表である。

2.1 確率降水量について

図1は、岡山市とその周辺地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配置図である。観測点数は8点である。なお、本報で定義する確率降水量は降雨の継続期間、日積算降水量、日最大1時間降水量とそれぞれの再現期間である。表2に各観測所の日最大1時間降水量と日積算降水量の観測期間を示す。岡山地方気象台の観測期間は最長の90年間となる。

表2 各観測点の観測期間

地点	観測期間
福山	1942年3月1日～2022年12月31日(81年間)
笠岡(かさおか)	1976年1月1日～2022年12月31日(47年間)
倉敷	1976年1月1日～2022年12月31日(47年間)
玉野	1976年1月1日～2022年12月31日(47年間)
岡山	1933年1月1日～2022年12月31日(90年間)
虫明(むしあげ)	1976年1月1日～2022年12月31日(47年間)
姫路	1950年1月1日～2022年12月31日(73年間)
家島	1976年1月1日～2022年12月31日(47年間)

注) 1時間毎の降水量の連続データの記録開始年数は、1950年以降である。



図3 備中高松城跡とその周辺地域

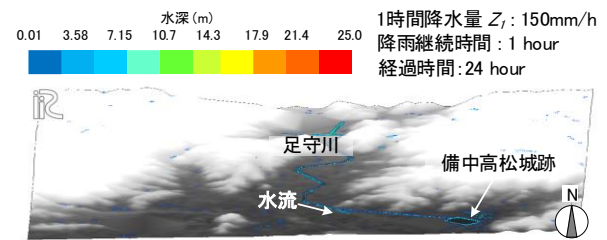


図4 備中高松城跡の周辺状況(3Dモデル)

以下、岡山地方気象台を岡山と言う。本研究の確率降水量の算出するための解析期間は10年間とした。

なお、1時間毎の降水量の連続データは1950年以降から記録されている。図2に示すように、複数の観測点における1時間降水量、日積算降水量および日最大1時間降水量の発生頻度は同じ年月日のデータから最大値を抽出して作成したものである。以下、これを瀬戸内岡山と言う。なお、観測点数が8点となる年数は1976年以降である。

本報は上記の各降水量の小数点第一位を四捨五入してランク降水量を求め、次に発生頻度と超過発生頻度を算出した。超過確率は超過発生頻度を発生頻度の合計値で除したものである。降雨の継続時間については、瀬戸内岡山において1時間毎のランク降水量の最大値を求め、その最大値が1以上となる連続数を算出したものである。

2.2 備中高松城跡の3Dモデルについて

図3は、備中高松城跡の所在地である。備中高松城跡

表3 iRIC による流出解析の主な条件

No	事 項	内 容
1	使用したソフト	iRIC (Nays2DFlood)
2	解析の対象地域	岡山県岡山市北区高松
3	地形データ	Open Street Map
4	流移項の差分方法	風上差分法
5	マンニングの粗度係数	0.035 [$\text{m}^{-1/3} \cdot \text{s}$]
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	継続時間は 24 時間 ①1時間降水量は 4.2mm/h ②1時間降水量は 43mm/h と 2.5mm/h,
9	解析領域	7600m×7600m
10	メッシュ数	144,400 [個] = 380 × 380
11	メッシュサイズ	20m×20m



図5 流出解析の解析領域

の西側に足守川が流れている。備中高松城水攻め時の水源は足守川の水流である。

文献1)によると、備中高松城跡の西側に自然堤防があり、1582年に羽柴秀吉によって自然堤防の両端部から人工堤防が建造された。これらの堤防によって梅雨時の足守川における水流が備中高松城跡の周辺に流れ込み、人為的な内水氾濫が発生した。本報で定義する内水氾濫時の水深は図中に示す予測点の数値である。

図4は、備中高松城跡周辺の3D地形モデルである。備中高松城跡の周辺は北側から東側にかけて、標高の高い山に囲まれている。足守川の位置を示すために、図中に $Z_f=150\text{mm/h}$ の水深分布を併記している。

なお、本報で用いたOpen Street Mapの地形データによると、図3の破線で示す領域は自然堤防の西側端部の北側に位置し、その標高は南側の場合と比べて高かった。そのため、本報は上記の領域の標高を下げて、足守川からの水が備中高松城跡に流れるようにした。

2.3 流出解析について

本報の流出解析は降水量と河川流量などの関係を予測するものである。流出解析に用いたアプリケーションソフトは河川氾濫シミュレーション iRIC のNays2DFloodである。表3は、流出解析の入力データである。

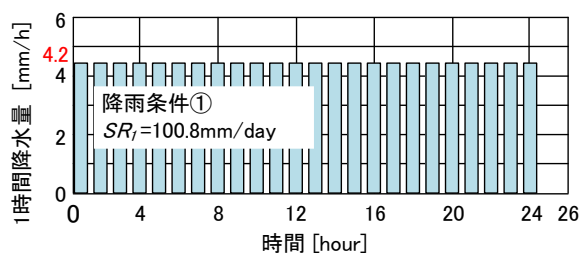


図6 降雨条件①の1時間降水量

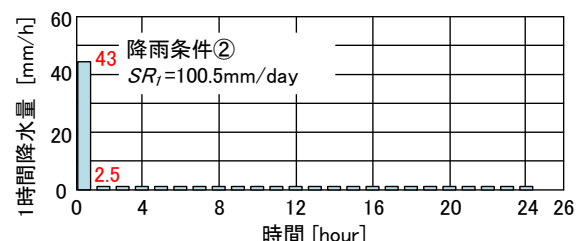


図7 降雨条件②の1時間降水量

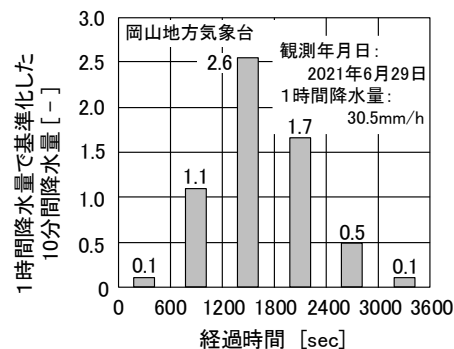


図8 降雨条件②に用いた岡山の降雨量モデル

文献1)によると、水攻め時の備中高松城周辺における水深は0.5mとしている。

そこで、本報は予測点の水深が0mから0.5mに達するまでの所要時間 $T_{0.5}$ を算出する。図5は、流出解析の解析領域である。本報の解析領域は文献1)と概ね同じであり、南北方向と東西方向に7.6kmの範囲とし、メッシュサイズは20mとした。表3に示す降雨条件は2種類とし、文献1)と同様に、降雨の継続時間は24時間とした。

図6に示すように、降雨条件①の1時間降水量は1年に1回発生する日積算降水量 SR_f に24を除いたものである。降雨条件①の SR_f は100.8mm/dayとした。例えば、文献1)で設定された1時間降水量は2.7mm/hであった。

図7は降雨条件②の1時間降水量である。最初の1時間は岡山の降雨量モデルを用いた。降雨条件②の最初の1時間の1時間降水量は43mm/hとした。残りの23時間の1時間降水量は2.5mm/hとした。降雨条件②の SR_f は降雨条件①の場合と概ね同じとし、100.5mm/dayとした。

図8は岡山の降雨量モデルであり、2021年6月29日の岡山地方気象台において観測された10分間降水量を用いて作成したものである。なお、10分間毎の降水量は1時間降水量で基準化した。

3. 解析結果

3.1 降雨の継続時間と日積算降水量について

文献1)で記すように、戦国時代の備中高松城水攻めは梅雨の始めに起き、その時の降雨時間は24時間以上であったと推定されている。そこで、降雨時間が24時間以上となる可能性を明らかにするために、岡山市とその周辺において1年間で1回発生する降雨の継続時間 KT_I は1950年以降の1時間降水量の連続データを用いて算出した。解析期間は10年間である。例えば、1951年の KT_I の解析期間は1951年～1960年である。

図9は瀬戸内岡山の KT_I の1950年以降の経年変化である。 KT_I の最小値は35.5hourとなり、最大値は43.0hourとなる。過去から現在にかけての KT_I は概ね同じとなり、その平均値は38.8hourである。

次に、図10は岡山における1950年以降の KT_I の経年変化である。 KT_I の最小値は18.1hourとなり、最大値は29.0hourとなる。 KT_I の平均値は22.7hourである。岡山における KT_I は、過去から現在にかけてやや減少傾向となり、1950年の KT_I は26.0hourとなる。

以上から、戦国時代と1950年以前の KT_I は概ね同じとなることを前提とした場合、備中高松城水攻め時における KT_I を24hourとすることは妥当であるものと考えられる。

次に、図11は瀬戸内岡山において、1年間で1回発生する日積算降水量 SR_I の経年変化を示す。瀬戸内岡山の SR_I は年数に比例して増加している。図中の SR_I の直線近似式の相関は高くなり、決定係数 R^2 は0.7768となる。

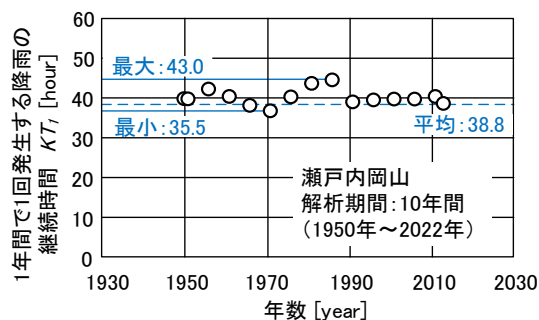


図9 瀬戸内岡山の降雨の継続時間の経年変化

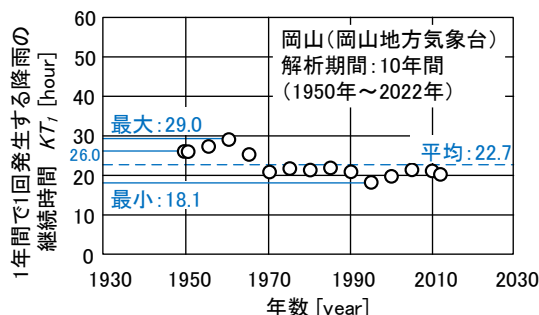


図10 岡山の降雨の継続時間の経年変化

この直線近似式を用いることで、1951年から2030年までの SR_I が予測できる。図中に示すように1976年の SR_I は100.6mm/dayとなり、2023年の SR_I は116.5mm/dayとなる。なお、1976年以降から観測点が8点となることから、本報は $SR_I=100.6\text{mm/day}$ を用いて、戦国時代の備中高松城水攻め時の降雨イベントを設定した。

図12は岡山において、1年間で1回発生する日積算降水量 SR_I の経年変化を示す。図9に示す降雨の継続時間の増加傾向は見られず、岡山の SR_I は過去から現在にかけて概ね同じとなる。岡山の SR_I の平均値は70.8mm/dayとなっている。

3.2 日最大1時間降水量について

図13は瀬戸内岡山における年最大1時間降水量 Y_I の経年変化を示す。各年の Y_I の変動は大きく、過去から現在の Y_I は増加傾向となる。

次に、本報は瀬戸内岡山の1年間で1回発生する日最大1時間降水量 S_I を算出した結果を図14に示す。 S_I の算出に当たっては、解析の対象期間は10年間とした結果、図14に示すように、 S_I の直線近似の相関は高くなり、決定係数 R^2 は0.7188となる。なお、一方、図13に示す R^2 は0.2166である。

図14に示す S_I の直線近似を用いることで、過去の1941年の S_I は36.1mm/hとなり、1976年の S_I は43.0mm/hとなる。また、現在の2023年の S_I は52.1mm/hとなり、未来の2030年の S_I は53.4mm/hとなる。

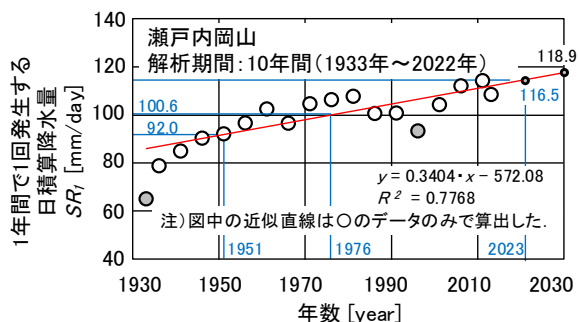


図11 瀬戸内岡山の日積算降水量の経年変化

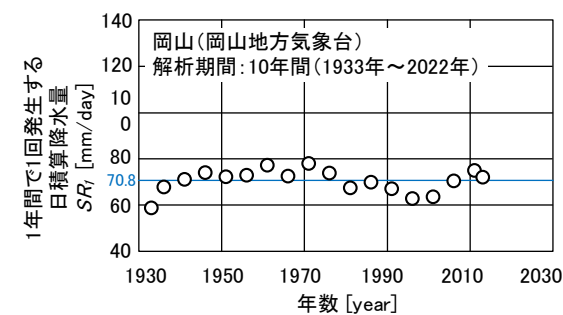


図12 岡山の日積算降水量の経年変化

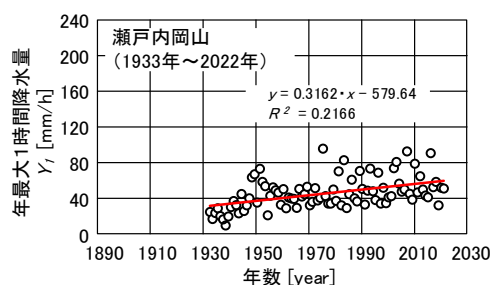


図 13 瀬戸内岡山の年最大1時間降水量の経年変化

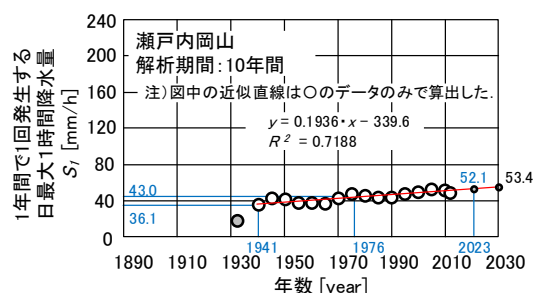


図 14 瀬戸内岡山の1年間で1回発生する日最大1時間降水量の経年変化

このように、 S_1 の経年変化は年数に比例してやや増加する傾向となり、1年当たりの S_1 の増加分は概ね0.2mm/hとなる。以上から、本報で提示した算出方法を用いることで、過去、現在と未来の S_1 が予測できる。

図 15 と図 16 は、瀬戸内岡山における日最大1時間降水量の超過確率である。図 15 の解析期間は 1976 年～1985 年の 10 年間である。

表 2 に示すように、1976 年以降から確率降水量を算出するための観測点が 8 点となる。図 15 に示すように、1976 年の S_1 は 34.9mm/h となる。

図 16 の解析期間は 2013 年～2022 年の 10 年間である。図中に示すように、2013 年の S_1 は 46.1mm/h となる。

以上から、戦国時代の備中高松城水攻めは本能寺の変(1582 年 6 月 21 日)の概ね同じ時期に起きた。この時期は梅雨の始めであることから、本報は 1976 年の瀬戸内岡山の確率降水量などを用いて、上述した図 6 と図 7 に示すように、流出解析に入力する 2 種類の降雨条件を設定した。参考として、文献 1) で設定された降雨条件は降雨の継続時間は 24hour とし、1 時間降水量は 2.7mm/h、日積算降水量は 64.8mm/day である。

3.3 流出解析の結果について

備中高松城水攻め時の目標とする水深 H は文献 1) によると 0.5m である。そこで、本報は降雨の継続時間を 24hour とし、日積算降水量を 100.6mm/day として、降雨条件①と降雨条件②を設定した。これらを用いて本報は予測点において $H = 0.5\text{m}$ となる時の経過時間を明らかにする。

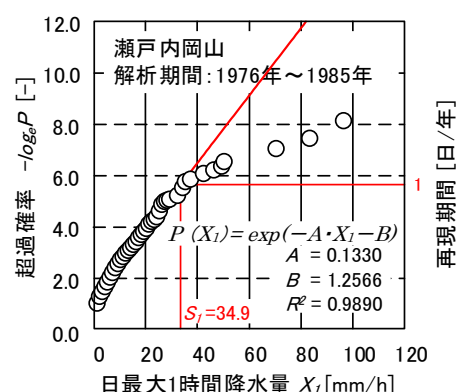


図 15 過去の確率降水量 (解析期間は 1976 年～1985 年)

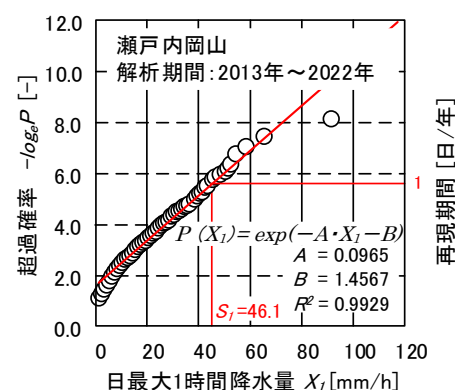


図 16 現在の確率降水量 (解析期間は 2013 年～2022 年)

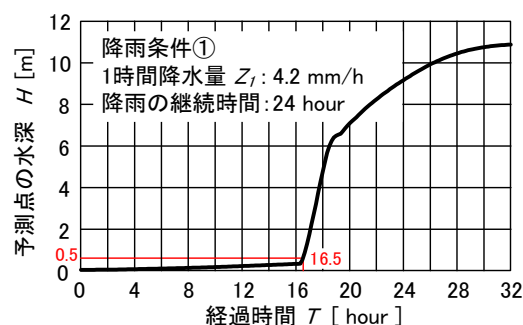


図 17 降雨条件①の予測点における水深と経過時間 ($SR_1=100.8\text{mm}$, 降雨の継続期間: 24hour)

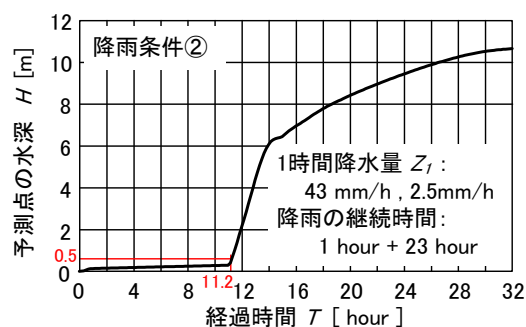


図 18 降雨条件②の予測点における水深と経過時間 ($SR_2=100.5\text{mm}$, 降雨の継続期間: 24hour)

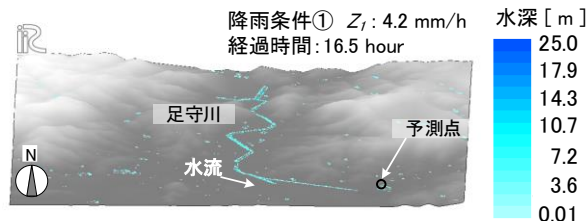


図 19 流出解析による降雨条件①の水深分布
($Z_t=4.2\text{mm/h}$, 経過期間: 16.5hour)

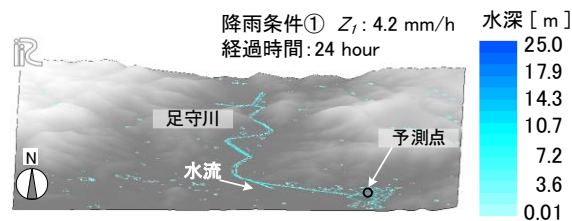


図 20 流出解析による降雨条件①の水深分布
($Z_t=4.2\text{mm/h}$, 経過期間: 24hour)

図 17 は降雨条件①の H と経過時間の関係を示す。降雨条件①の 1 時間降水量 Z_t は 4.2mm/h である。図中に示すように、 $H=0.5\text{m}$ となる経過時間は 16.5 hour となる。

図 18 は降雨条件②の H と経過時間の関係を示す。降雨条件②の最初の 1 時間の Z_t は 43mm/h であり、残りの 23 時間の Z_t は 2.5mm/h である。最初の 1 時間で大量の降水量を発生させたため、 $H=0.5\text{m}$ となる経過時間は図 17 と比べて早まり、 11.2 hour となる。

以上から戦国時代の備中高松城水攻めは実現性の高い人為的な内水氾濫であったことがわかる。

図 19 は流出解析による降雨条件①の水深分布である。 Z_t は 4.2mm/h であり、図示した解析結果の経過時間は 16.5hour である。この時点では、図中に示すように、 $H=0.5\text{m}$ となる領域は狭い状態となっている。

図 20 は流出解析による降雨条件①の水深分布である。 Z_t は 4.2mm/h であり、図示した解析結果の経過時間は 24hour である。予測点の周辺は広い範囲で浸水していることがわかる。

4. まとめ

備中高松城水攻めは、戦国時代に羽柴秀吉による築堤と梅雨の大雨により発生した人為的な内水氾濫である。当時の降雨イベントを明らかにするために、本報は現在の気象データを用いて地域を代表する確率降水量などを算出した。そこで、降水量の増加傾向を示す複数のパラメータを用いて、本報は 2 種類の降雨条件を設定し、備中高松城水攻め時の様子を検討した。以下に本研究で得られた成果を示す。

- ① 現在の岡山市とその周辺を代表する瀬戸内岡山において、解析期間を 10 年間として、1 年間で 1 回発生する 1950 年以降の降雨の継続時間は概ね同じとなり、 38.8hour となることがわかった。
- ② 瀬戸内岡山において過去から現在にかけての日積算降水量 SR_t は増加傾向となることがわかった。また、 SR_t の経年変化は高い相関の直線近似で示すことができる。これを用いて 1976 年の SR_t は 100.6mm/day となり、2023 年の SR_t は 116.5mm/day となることがわかった。

③ 瀬戸内岡山の過去から現在にかけて、1 年間で 1 回発生する日最大 1 時間降水量 S_t はやや増加傾向となることがわかった。また、 S_t の経年変化は高い相関の直線近似で示すことができる。これを用いて過去から未来にかけての S_t が予測できることがわかった。

④ 本報で設定した 2 種類の降雨条件を用いた場合、備中高松城水攻め時に水深が 0.5m に達する経過時間は 11.2 hour から 16.5 hour の範囲となり、戦国時代の備中高松城水攻めは実現性の高い人為的な内水氾濫であったことがわかった。

5. 謝辞

本研究は、公益財団法人 TAKEUCHI 育英奨学会の研究助成（申請者：野々村善民）から多大な支援を受けた。全国トース技術研究組合（国土交通大臣認可、国官技第 236 号）などから多大な支援を得た。本稿の作成に当たって、多大な協力を頂いた関係各位に心から謝意を表します。

[参考・引用文献]

- 1) 根本裕樹, 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, 地理学評論 86-4, pp. 315-pp. 337, 2013 年
- 2) 野々村善民, 島脇優里: 神戸地方気象台における確率降水量に関する研究 淀川チャネル型大雨の影響を受ける再現期間 100 年の降水量の算出方法, 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. 364-369, 2020 年 12 月
- 3) 谷岡能史: 考古遺跡に残された洪水痕跡と降水量の関係, 日本気象学会機関誌「天気」55 巻, pp. 797-806, 2008 年 10 月
- 4) 中村彩乃, 野々村善民, 萩原春親: 瀬戸内海西部における確率降水量に関する研究 地球温暖化の影響による降水量の増加, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (近畿), pp. 2231-2232, 2023 年 9 月
- 5) 寺前海斗, 野々村善民, 萩原春親: 戦国時代の備中高松城水攻め時の降雨範囲に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (近畿), pp. 2229-2230, 2023 年 9 月