豪雨時の市街地氾濫機構と住民避難の視点から見た
水防災まちづくりに関する研究

A study on urban inundation mechanisms during heavy rainfall and community planning for flood prevention from the perspective of evacuation

18D3104021I　福岡　龍（河川工学研究室）
Ryu FUKUOKA / River Engineering Lab.

Key Words : *Hitoyoshi City, urban inundation, community planning, evacuation, legal system*

1.　序論

人吉市は，熊本県南部，球磨川上流部に位置する人口3万人程の地方都市である．市内には，万江川や山田川，胸川等多くの支川が流入しており，台風や梅雨前線の影響を受け，水害の常襲地域となっている．令和2年7月豪雨では，市内で21名（関連死を含む）の人的被害が発生し，**図-1**に示すように市街地に氾濫流が流れ込み甚大な被害を受けた[1]．この時，人吉市には，局地的に猛烈な雨が**図-2**に示すように降り，外水氾濫前に市内水路から内水氾濫が発生していたことが確認されている[1]．

このような大規模氾濫時には，地先の氾濫状況が逃げ遅れや避難中の被災に大きく影響する．そのため，豪雨時の氾濫現象やリスクを，地域づくりやまちづくりの中に反映し，水災害に強い地域体制の構築が求められる．そこでは，地域の水路網の集水特性の評価，多段階的な外力が作用するときのリスク評価を行い，氾濫前後で地域がどの様な危険な状況になるのかを判断できる観測・解析技術が必要となる．これより，推定される氾濫現象に対し，地域の対策を考える際には，技術と法制度の踏み込んだ議論が求められる．本研究では，この考え方を人吉市に適用し，市街地内の氾濫機構と避難の在り方の検討を行い，水防災まちづくりについて考察する．この検討では，計画規模を超える令和2年7月豪雨の検討を行う前段階として，地域の計画で用いられている平成18年7月豪雨を外力条件とした解析を行う．対象区域は令和2年7月豪雨時に特に被害を受けた**図-5**の範囲とする．

2.　平成18年7月豪雨の概要

九州南部に停滞した梅雨前線の影響で，人吉市周辺では，**図-3**に示すように総雨量800mm程の豪雨に見舞われた．球磨川流域全体では，人吉市を含む南部での降雨量が集中している．令和2年7月豪雨と比べ，総雨量は多いものの，各時間における雨量強度は小さく，中高頻度の降雨が長期間降り続いたことが特徴として挙げられる．12時間最大降雨量の再現期間としても20年程で

図- 1 :球磨川氾濫後の人吉市周辺の様子 [2]
(R2.7 洪水)

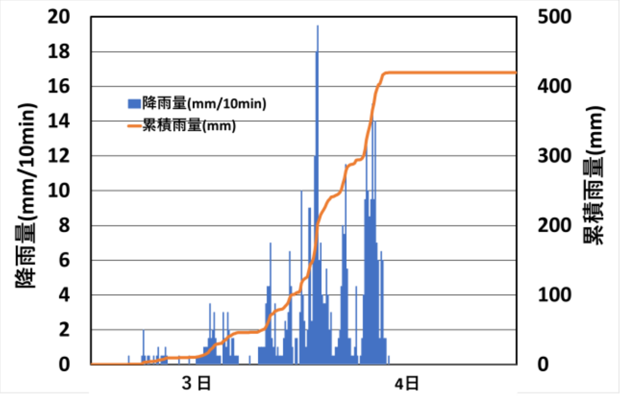

図-2：R2.7 豪雨ハイエトグラフ（人吉）

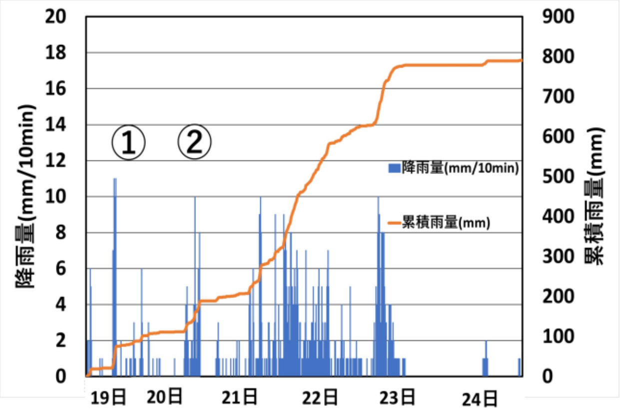

図-3：H18.7 豪雨ハイエトグラフ（人吉）

表-1：貯留関数法諸元

集水域名	k	p	A (km²)	T L	f1	Rsa(mm)
御溝川集水域①	7.284	0.6	0.868	0	0.86	100
御溝川集水域②	12.343		1.150			
御溝川集水域③	7.849		0.182			
御溝川集水域④	11.517		0.607			
福川集水域①	9.648		0.152			
福川集水域②	9.648		0.180			
雨水幹線集水域①	11.635		0.239			
雨水幹線集水域②	11.635		0.178			

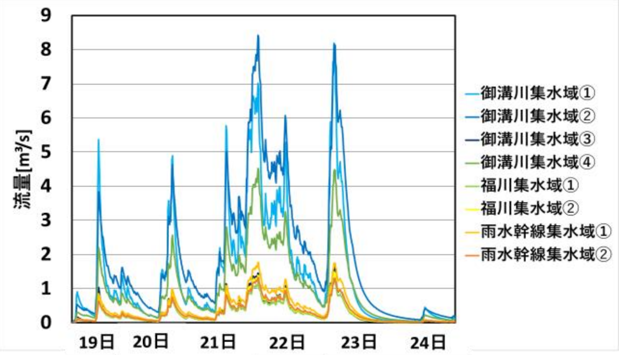

図-4：貯留関数法により算出した山地流量ハイドログラフ

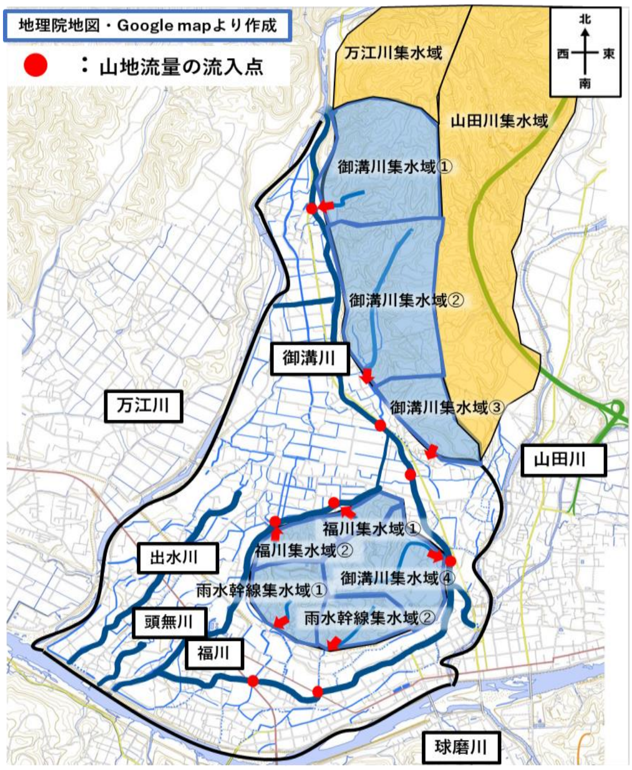

図-5：対象区域及び解析モデルの概要

ある．また，この平成18年7月豪雨においては，球磨川水位が人吉水位観測所において計画高水まで約40cmに迫る出水となっており，市内全域で内水排除や土のう積等の水防活動が行われた．対象区域内の状況としては，出水川周辺での内水氾濫や御溝川周辺における浸水被害が確認されている．

3. 解析法と解析条件

堤内地の氾濫解析には，連続式(1a)，運動方程式(1b)を一般座標系に変換した平面二次元不定流解析法を用いた．

$$\frac{\partial h}{\partial t}+\frac{\partial U_j h}{\partial x_j}=r \quad (1a)$$

$$\frac{\partial U_i h}{\partial t}+\frac{\partial U_i U_j h}{\partial x_j}=-gh\frac{\partial z_s}{\partial x_i}+\frac{\partial T_{ij}h}{\partial x_j}-\frac{\tau_{bi}}{\rho} \quad (1b)$$

ここでは，i,j：1,2，x_i：x,y，h：水深，t：時間，U_i：x_i方向の水深平均流速，r：降雨量，g：重力加速度，z_s：基準面からの水位，T_{ij}：せん断応力，τ_{bi}：x_i軸方向の底面せん断力，ρ：水の密度を表す．

また，山地からの流出量は，以下のように，貯留関数法を用いて算出した．

$$\frac{\partial S}{\partial t}=r(t-T_L)-q \quad (2a)$$

$$S=Kq^p \quad (2b)$$

$$Q=\frac{1}{3.6}f_1Aq_1+\frac{1}{3.6}(1-f_1)Aq_2 \quad (2c)$$

ここで，S：流域内の貯留高，T_L：流域遅滞時間，q：流出高，K,P：流域ごとの定数，Q：山地流出量，f_1：一次流出率，A：流域面積，q_1：全降雨による流出高，q_2：累加雨量が飽和雨量R_{sa}に達した後の流出高を表している．**表-1**は貯留関数法に用いた諸元を示している[3]．**図-4**は算出した各山地集水域の流出流量ハイドログラフを示しており，ここで得られた流量は**図-5**のように各流入点に与えている．降雨については，山地集水域を除き，**図-3**に示す10分雨量を対象地域に一様に与えている．

また，地盤高は，平成21年度レーザープロファイラデータを基に設定し，格子解像度は縦横断方向に約2m程である．**図-5**の藍色で示す御溝川，福川等の中小河川及び主要な排水路は，河床高等を参考に再現しており，堤内地の地形をできる限り詳細に再現している．なお，本解析では，地域の集水特性を把握することに着目し，現在の段階では樋門・樋管の操作は閉じた状態を想定している．

4. 解析結果と考察

図-3に示す①，②の時刻を以下，第1ピーク時，第2ピーク時と呼ぶ．**図-6**は第2ピーク時の水深コンターと農地の所在を重ねたものを示している．農地を中心に浸水している様子が確認できる．特に，南西部は標高が最も低く，出水川や頭無川周辺において，内水氾濫が発生していることが分かる．また，**図-7**，**図-8**は出水川で農地からの流量が支配的であることを示している．

図-6：農地情報[4]と水深コンター重ね図（第 2 ピーク時）と H18.7 豪雨時の御溝川の状況

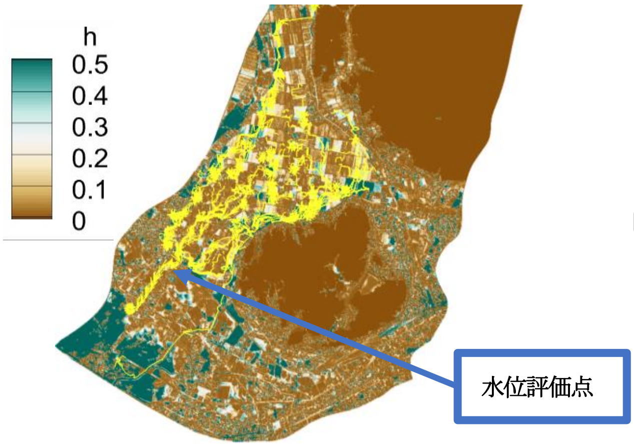

図-7：上流部流線と水深コンター（第 2 ピーク時）

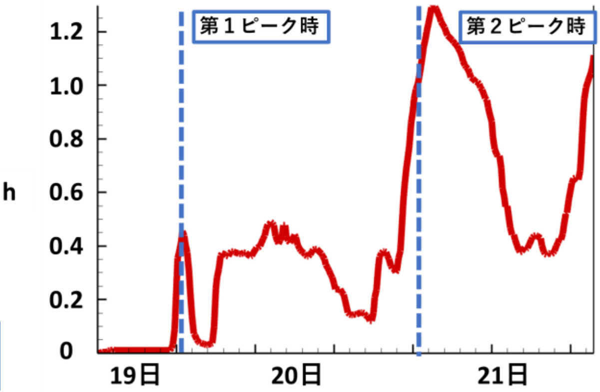

図-8：出水川水位ハイドログラフ（上流部）

図-8の水位ハイドログラフを見ると，第1ピーク時に比べ，第2ピーク時の水位の立ち上がりが大きくなっていることが分かる．これは，第1ピーク時に農地に貯留していた流量が，第2ピーク時に農地から流出し，出水川に流入したことが要因と考えられる．そのため，下流部のポンプ排水能力の強化に加え，農地における排水操作の工夫によって内水氾濫の被害を軽減することができると考える．更に，この地域においては，豪雨時に台地の避難所が最も安全なことや周辺道路の浸水しやすさの程度を示し，早めの避難を促すことが求められる．一方で，**図-7**から御溝川は，農地からの流入は殆どなく，山地流入量が支配的であることが分かる．この御溝川は，用排水兼用の水路で排水能力が低く，**図-6**で示すように沿川で浸水被害が発生しやすい河川となっている．駅周辺の市街地部では，一部が側溝状になっている箇所があり，早い段階（第1ピーク時）から周辺道路が浸水していた．付近の人吉坂本線のアンダーパス部においても浸水が発生しており，避難の導線を確保する上で難しい状況になると考える．これらの箇所については，人吉市の地区懇談会において，内水が発生しやすい箇所として挙げられていた．

豪雨時の堤内地における内水被害や道路冠水等の状況把握は，外水による大規模氾濫前の確実な避難に対して，決定的に重要な情報となる．令和3年度人吉市地域防災計画書において，避難情報の発令については，被害発生の有無，球磨川水位や気象情報，洪水予報等を基に判断することとなっているが，内水による地先のリスクを反映し，優先的な避難情報の発令が必要となる．人吉市では，防災ラジオを各戸に配布する取組を行っており，情報伝達体制の充実が図られている．この地域独自の取組を生かして，出水川周辺等の高リスク地に対して優先的に避難促進を行い，逃げ遅れや避難中の被災等の被害を無くすことが喫緊の課題である．また，要配慮者利用施設の避難確保計画については，球磨川や万江川等の大きな規模の河川（洪水予報河川）水位に対する対応方針が基本となっており，避難時に内水被害等を発生させる市内の中小河川の実態が避難の計画に取り入れられていないのが現状である．避難経路の設定などに用いられるハザードマップについては，御溝川や福川等の浸水想定が含まれているが，本支川の浸水域が同時に示されているため，避難時の状況を判断することが難しい．

そこで，市内を流れる中小河川の豪雨時の状況を適切に評価し，確実な避難を推進する体制づくりが災害時の備えとして求められる．これと，平時の取組として行われる河川整備の双方が連携をして減災まちづくりに取り組んで行くことが必要となる．

5. まとめと今後の課題

これまで，人吉市を対象に，豪雨時の市街地内で発生する内水氾濫現象に対して，住民避難の視点から現状の課題を述べた．これに加え，今後起こり得る大規模水害に対して，復興まちづくり等を考える中では，令和2年7月豪雨のような**図-2**で示す高強度の雨が短時間に降り続いた場合に，地域でどのような現象が起こるかを明らかにすることが求められる．その上で，氾濫に備え，避難，水防，土地利用を含めてどのような地域づくり・まちづくりが求められるのかを総合的に検討することが必要となる．また，これらの主体は自治体であり，計画や条例に基づく対策を実施するための財政制度が法律により規定されている．そのため，地域で発生する氾濫に備える水防災まちづくりに対して，国や地方の法制度と共に検討することが求められる．福岡は，頻発化が懸念される広域な水害について，法律・制度や地域特性，慣習を含めた水害共生社会の制度化の必要性を述べ，提言をしている[5]．自治体を中核とした水防災・減災まちづくりについては，福岡が提示した考えを拡張し，法律との体系が多層的な関係にあると考え，**図-9**のように整理した．ここでは，氾濫時の被害軽減に向けて，施設を中心とした治水対策に加え，自治体を中核とした氾濫に備えた地域づくりと氾濫を考慮した平時まちづくりを一体的に捉えることの重要性を強調している．現状においては，このつながりの希薄さの是正が今後の課題と考える．その中で，近年，流域治水関連法の施行によって，自治体の対策の幅が広がり，水害リスクを考慮したまちづくりの実効性が向上されつつあるように思う．しかし，地域の対策を考える上では，地域防災計画やその下位計画である避難計画等との関係性の中で，内水災害をどのように考えるのか，外水位の評価が主となっている現状の体制に，地域の内水氾濫現象を取り入れる必要性を強調したい．これらの考え方を基に，人吉市について，平成18年7月の豪雨災害をベースに，令和2年7月豪雨における地域の状況や外水氾濫を考慮した上で，水防災・減災まちづくりを法制度を含め検討することが今後の課題である．

参考文献

1) 鳥越輝喜：第 20 回都市水害に関するシンポジウム講演論文集,pp17-24,2021.11.26
2) 西日本新聞,2020.7.5(2020/02/05 閲覧)
https://www.nishinippon.co.jp/item/n/623144/
3) 御溝川河川整備計画検討業務報告書,2008.3.25
4) 農林水産省：農地の区画情報（筆ポリゴン）
5) 福岡捷二：法律時報 91 巻,12 号,pp72-78,2019.11.

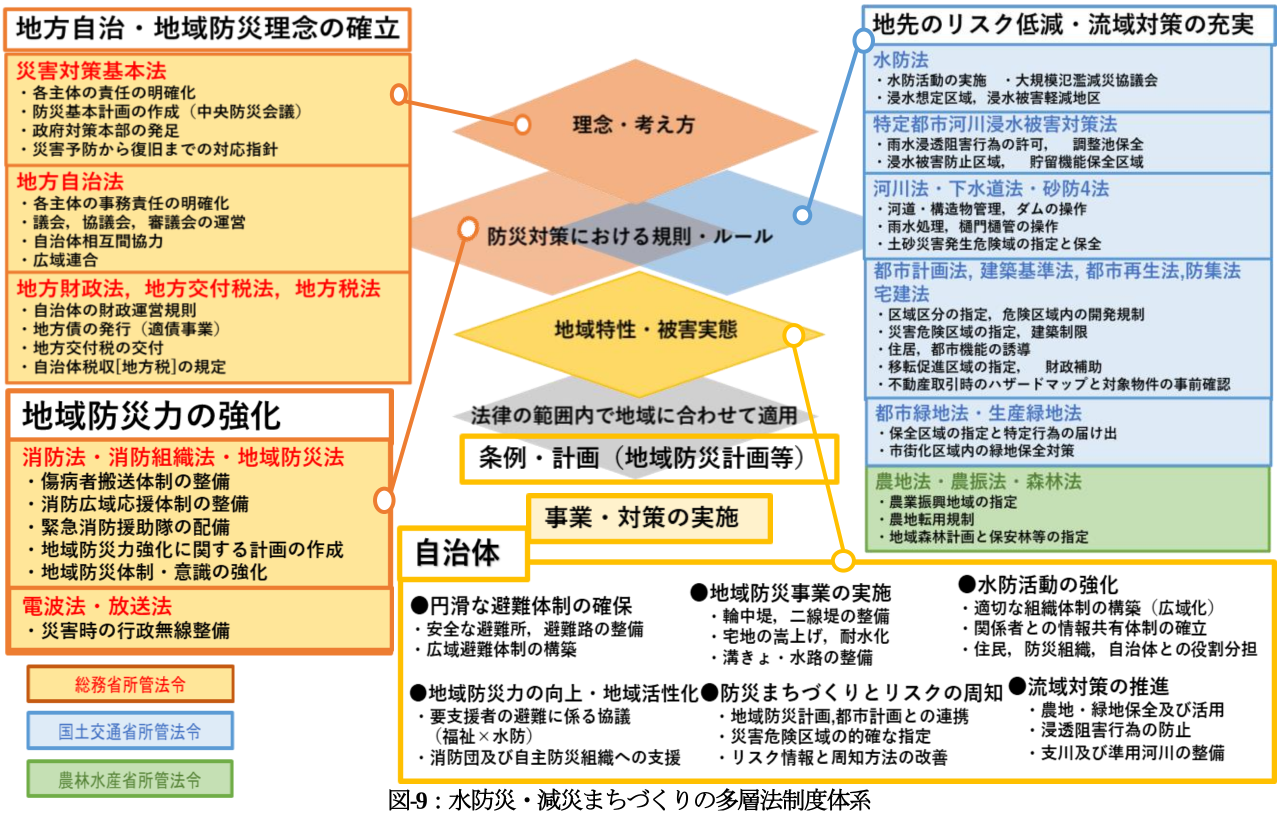

図-9：水防災・減災まちづくりの多層法制度体系