

令和2年7月球磨川豪雨 ダムの役割と効果および拠点医療機関の水害対策

Floods in Kuma River in July 2020

Roles and Flood Mitigation Effects of Dams and Flood Countermeasures of Core Medical Institution

角 哲也・野原大督⁽¹⁾・小林健一郎⁽²⁾・鳥山 亜紀⁽³⁾・長谷川 夏来⁽⁴⁾

Tetsuya SUMI, Daisuke NOHARA⁽¹⁾, Kenichiro KOBAYASHI⁽²⁾,
Aki TORIYAMA⁽³⁾ and Natsuki HASEGAWA⁽⁴⁾

- (1) 鹿島建設株式会社技術研究所
- (2) 神戸大学大学院工学研究科
- (3) 清水建設株式会社設計本部
- (4) 清水建設株式会社技術研究所

- (1) Kajima Technical Research Institute
- (2) Graduate School of Engineering, Kobe University
- (3) Design Division, Shimizu Corporation
- (4) Institute of Technology, Shimizu Corporation

Synopsis

Recordable heavy rainfall hit and caused severe floods from the Kuma River in Hitoyoshi and Kuma regions in July, 2020 due to an active frontal rain system. This paper aims to show the flood impacts and mitigation effects of dams including proposing Kawabegawa dam. Additionally, we clarify challenges and issues in measures taken by core medical institutions against large-scale floods based on the results of interview with the core medical institution in Hitoyoshi and Kuma regions. The paper then discusses directions for effective flood countermeasures of core medical institutions in order to have more robust Business Continuity Plan (BCP) for large-scale flood disasters.

キーワード: 2020年7月豪雨, 球磨川, ダム効果, 川辺川ダム, 洪水対応, 医療機関BCP
Keywords: Heavy rainfall in July 2020, Kuma River, Flood response, BCP on hospitals

1. はじめに

日本付近に停滞した梅雨前線の影響により、2020年7月3日から31日にかけて各地で大雨となり、九州地方や東北地方では大規模な洪水が発生した。特に、7月3日から8日にかけては、活発な梅雨前線が中国大陸から九州付近を通って東日本に伸びてほとんど停滞し、九州では7月4日から7日にかけて記録的な大雨となったほか、気象庁より九州5県と岐阜県、長野県に大雨特別警報が出されるなど（気

象庁, 2020), 広い地域が激しい豪雨に見舞われた。

熊本県南部を流れる球磨川流域では、7月4日未明から同日午前にかけて特に集中的な豪雨となり、球磨川の狭窄部に位置する球磨村や、狭窄部上流の盆地に位置する人吉市などにおいて、大規模な氾濫が発生し、甚大な人的・物的被害が生じた。国土交通省および熊本県は、人吉地点での氾濫戻し後の流下流量の最大値を約 7,400 m³/s と見積もっており（国土交通省・熊本県, 2020), 同地点における球磨川の流下能力を大きく上回るような規模の出水となり、

人吉市街の広範囲に甚大な氾濫被害が発生した。

球磨川には、本川上流に熊本県の管理する多目的ダムである市房ダムがあり、洪水に備えて前日から予備放流が実施された。流入流量が非常に大きかったものの、市房ダムは異常洪水時防災操作に至る一歩手前まで洪水を貯留し、大きく洪水調節効果を発揮した。一方、主要な支流川辺川には国土交通省が川辺川ダムを計画していたが、熊本県によるダムによらない治水政策のもと建設が実現していなかった。今回の洪水では川辺川流域にも大きな降雨が発生し、球磨川本川、川辺川およびその他の支川からほぼ同時に人吉に洪水が流入したことが被害を増大させたと考えられることから、仮に川辺川ダムが建設されていた場合の被害軽減効果について検討を行った。川辺川ダムは、人吉地点の本川水位を低下させ、流れ込む支川の流下を促進することが想定され、これによる市街地の氾濫被害の軽減効果についても大規模2次元氾濫計算を用いて考察を行った。

次に、本報告では球磨川水害時の拠点医療機関である人吉医療センターの水害対策の課題と方向性についても検討を行った。令和2年7月豪雨災害は、新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の流行に伴って異例の感染症対策が取られる中で発生した初めての大規模な自然災害でもあり、特殊な感染症に対する対策を継続しながら、水害対応をいかに効果的に実施するかが大きく問われた災害であった。避難所では、新型コロナウイルス感染症対策として密な状況を避けるために収容人数の見直しを迫られたり、あるいは避難者の検温や体調確認にかかる作業が追加されるなど、運営面での負担増大が見られた。また、その一方で、水害後の医療活動では、災害派遣医療チーム（DMAT）の派遣にあたって、新型コロナウイルス感染症の流行地域からの派遣を見合わせたり、多めの消毒液の携行に加えて通常の災害派遣では携行しないN95マスクやガウンを携行したりするなど、特殊な感染症の流行による災害医療活動への影響が見られた（九州医事新報社, 2020）。

また、熊本県ではこの豪雨で30の医療施設が浸水被害に遭い、人吉市では人吉医療センターや球磨病院などの地域の拠点病院も浸水被害に見舞われたほか、球磨村では村で唯一の診療所が浸水被害に遭い一時的に診療を中断するなど（九州医事新報社, 2020）、地域医療への大きな影響が見られた。このように、水害に限らず大規模な災害の発生時においては、医療機関や従事者の被災に伴い医療資源が低下する一方で、災害時の医療が加わることにより、医療の負担が大きくなることが特徴である。発災当時、球磨地方における新型コロナウイルス感染症の流行

状況は幸いにしてかなり低い水準にあったが、水害が運悪く特殊な感染症の流行のピークに重なるように発生した場合には、地域医療への負担はさらに深刻になると考えられ、場合によっては医療機能が崩壊する事態にもなりかねない。

こうした観点から、著者らはこれまでに特殊な感染症の流行下での拠点医療機関の浸水被害対策について検討を行ってきた（野原・角, 2020）。この中では、浸水対策や水害対応計画など医療機関での自助努力としての水害対策と、河川管理者や行政の防災部局、厚生部局などによる、防災面あるいは公衆衛生面での支援の双方が重要であることを指摘している。一方で、近年の水害で被災した医療機関の被災状況や対応状況に関する報告はこれまでにもなされているもの（後藤ら, 2014, 湯浅ら, 2019）、こうした研究事例はいまだ少なく、特に災害発生時に地域医療や災害医療の中心的な役割を担う拠点医療機関の浸水実績を踏まえた効果的な水害対策についての知見は、依然として十分ではないのが現状である。

こうした背景により、清水建設株式会社と京都大学は、現在、医療施設の水害対策の高度化に関する共同研究を進めており、その一環として、令和2年7月豪雨災害において浮き彫りになった医療機関における水害対策の課題を把握するため、球磨川支川からの洪水氾濫によって浸水被害を受けた人吉医療センターを対象にヒアリングを行った。本稿ではその結果を報告するとともに、今後の拠点医療機関における水害対策の方向性についても考察を行う。

2. 令和2年7月豪雨での球磨川出水の概況

2.1 降雨の概況

球磨川流域では、活発な梅雨前線の影響により7月3日から7月4日午前にかけて激しい豪雨となった。特に、7月3日21時頃から7月4日10時頃にかけては、東シナ海から伸びる長さ・継続時間ともに2009年以降では最大規模の線状降水帯の影響を受け（国土地理院, 2020）、非常に激しい降雨に見舞われた。Fig.1に気象庁解析雨量より算出した球磨川流域の7月4日9時までの12時間雨量の分布を示す。流域内の広い範囲で200mmを上回る降雨であり、南東部に位置する球磨地方の一部や芦北町では600mm超、球磨川本川流域の人吉上流でも400～500mm程度の降雨が観測されている。同期間のアメダス人吉地点の観測雨量は339mm、解析雨量より算出した人吉地点上流域の平均雨量は344mmであり、いずれも球磨川の河川整備基本方針の人吉上流域の基準雨量（12時間262mm）を上回る規模であった。

Fig.2 に球磨川流域における7月3日21時から7月4日9時までの3時間雨量の空間分布の推移を示す。また、Fig.3 に7月3日1時～7月5日0時までのアメダス人吉地点の観測雨量の時系列を示す。気象庁解析雨量データや国土交通省のレーダーデータなどからは雨域の南北移動が認められ、Fig.2の3時間雨量の推移では、7月4日0:00-3:00の時間帯(b)に球磨川流域の南側から線状降水帯に伴う強雨域が侵入し、一旦北上して球磨川流域北部に停滞(同3:00-6:00(c))したのち、再び南下して球磨川流域から抜けていく(同6:00-9:00(d))様子が見て取れる。これに伴って、Fig.3に示すように、人吉地点では、7月4日1～2時と同日7～8時にそれぞれ時間雨量65mm超の大きな二つのピークを持った波形の降雨が観測されている。

2.2 洪水の経過

上述のような記録的な豪雨により、球磨川では大規模な出水となった。7月4日4:00頃には人吉地点で球磨川の水位が氾濫危険水位を超過し、同日5:55には、人吉市のやや下流に位置する球磨村渡地区右岸を対象に国土交通省および気象庁より氾濫発生情報が発表、同日7:40には、人吉市上青井町などでの氾濫発生情報が発表されている(国土交通省・熊本県, 2020)。人吉市では、標高が相対的に低い球磨川右岸の市街地の広い範囲で球磨川本川や支川の氾濫に伴う浸水が発生し、標高が相対的に高い左岸側でも支川の氾濫などにより一部で浸水が生じた。

被害は広範に及んでおり、人吉市内においては、国宝の青井阿蘇神社周辺では4mを超える浸水深が発生している。また、球磨川本川からの越水のみならず、支川山田川からの氾濫水が本川と並行するようになりかなりの流速を持って流れたことが、家屋の損壊の様子からも伺い知ることができる(Fig.4)。

今回の洪水規模について国土交通省および熊本県は、人吉地点での氾濫戻し後の流下流量(上流での氾濫を考慮しなかった場合に人吉地点に流入したと考えられる河川流量)の最大値を約7,400 m³/sと見積もっており、浸水範囲は計画規模降雨時(河川整備基本方針レベル: 12時間雨量262 mm)の浸水想定区域よりも広く、想定最大規模降雨時(12時間雨量504 mm)の浸水想定区域よりも狭かったと推定している(国土交通省・熊本県, 2020)。

なお、上述の人吉地点での氾濫戻し後の流下流量の最大値については、著者ら(角・野原, 2020)が分布型流出モデルHydro-BEAM(Kojiri T., 2006)を用いた降雨流出計算により推定した最大値(7,600～7,700 m³/s)と概ね整合的である(Fig.5)。

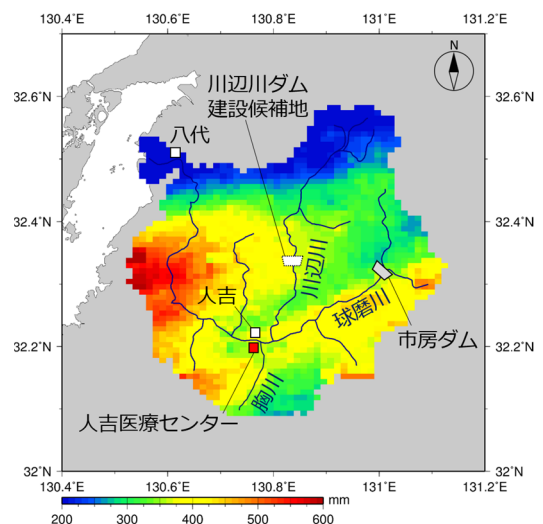


Fig.1 Twelve-hour cumulative rainfall distribution in Kuma River from 9 AM, July 4, 2020

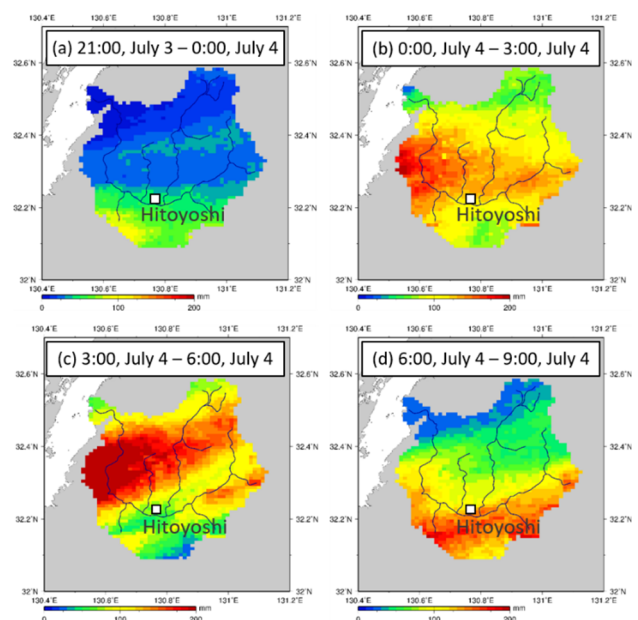


Fig.2 Spatial trend of three-hour rainfall distribution in Kuma River

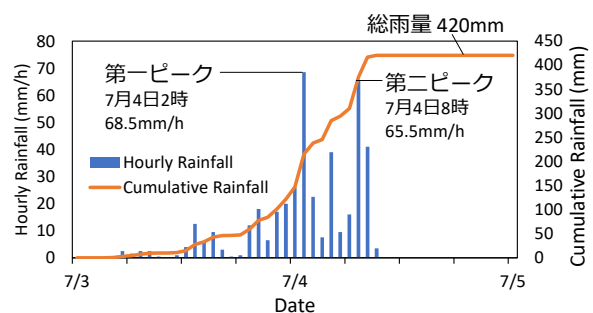


Fig.3 Measured rainfall at Hitoyoshi station of AMeDAS



Fig.4 Flood damages in Hitoyoshi city area

いずれにしても、当時の治水対策の目標レベルとされていた昭和40年7月洪水(推定ピーク流量5,700 m³/s)の外力規模を大きく上回る出水となった。

2.3 ダムの洪水調節効果

球磨川には、本川上流に熊本県の管理する多目的ダムである市房ダム (Fig.6: 1959年完成, 目的: 洪水調節, 流水の正常な機能の維持, 発電, 諸元: 堤高78.5m, 総貯水量容量 4,020 万 m³, 有効貯水容量約 3,510 万 m³, 流域面積: 157.8km² (球磨川全体 1,880km²の 8.4%), 計画高水流量 1,300m³/s, 計画最大放流量 650m³/s)がある。洪水に備えて前日からの予備放流 (273.3m→271.8mへ約 1.5m 低下 (約 10 時間))により、洪水調節容量を増加 (850 万から約 770 万 m³ 増: 合計 1620 万 m³) (相当雨量 (上流域面積あたりの容量): 54→103mmに増大)された。流入流量が非常に大きかったものの、市房ダムはこの事前の放流による容量増の効果もあって異常洪水時防災操作に至る一歩手前まで洪水を貯留し、大きく洪水流量を軽減 (1,164→600m³/s)させた (Fig.7)。

一方、主要な支流川辺川には国土交通省が川辺川

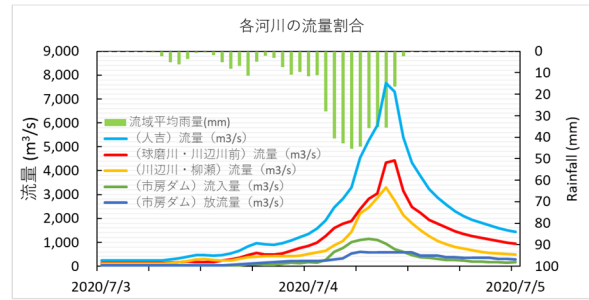


Fig.5 Flood discharge in Hitoyoshi city area and contribution of each tributary

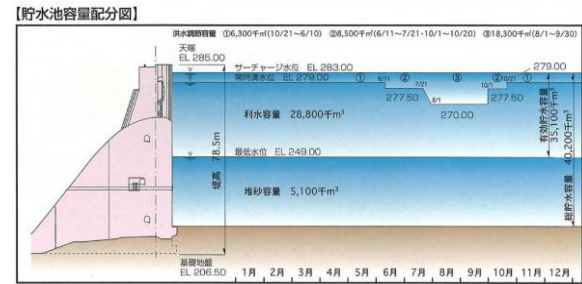


Fig.6 Reservoir storage allocation of Ichifusa dam

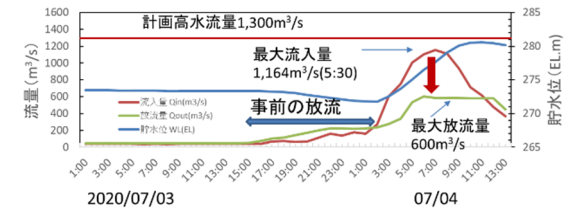


Fig.7 Flood control effect of Ichifusa dam

ダムを計画していたが、熊本県によるダムによらない治水政策のもと建設が実現していなかった。今回の洪水では川辺川流域にも大きな降雨が発生し、球磨川本川、川辺川およびその他の支川からほぼ同時に人吉に洪水が流入したことが被害を増大させたと考えられる。

そこで、仮に川辺川ダムが建設されていた場合の被害軽減効果について、洪水ピーク流量のみならず、洪水流出総量の観点からも検討を行った (Fig.8)。川辺川ダム上流域の降雨は、球磨川本川上流よりもやや少なく (約 350mm/24 時間)、今回、ダム地点に流れ込んだ流量は約 1 億 2 千万 m³ (ピーク流量: 約 2,500m³/s)である。ここでは、川辺川ダムの洪水調節操作は簡略化のために一定量放流 (500, 200m³/s 一定放流) で試算を行っており、ダムからの放流量を 500m³/s 一定とすれば必要な調節容量は約 5,400 万 m³, 200m³/s 一定の場合は必要容量は 9,000 万 m³ となり、概ね当初計画の洪水調節容量の範囲内で十分な洪水調節効果を発揮することが期待される。

気象庁解析雨量から降雨流出モデル(Hydro-BEAM)を用いて野原が計算 ※氾濫効果を考慮しない 流出流量であることに留意

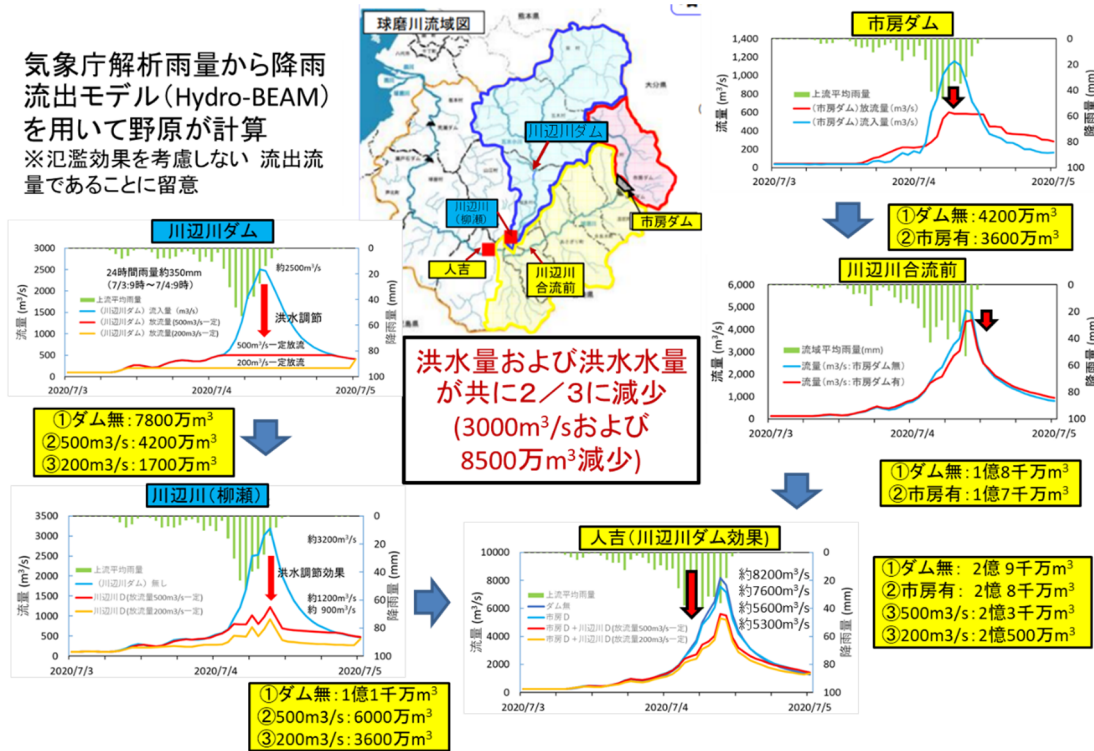


Fig.8 Estimation of flood control effects of Ichifusa and Kawabegawa dams

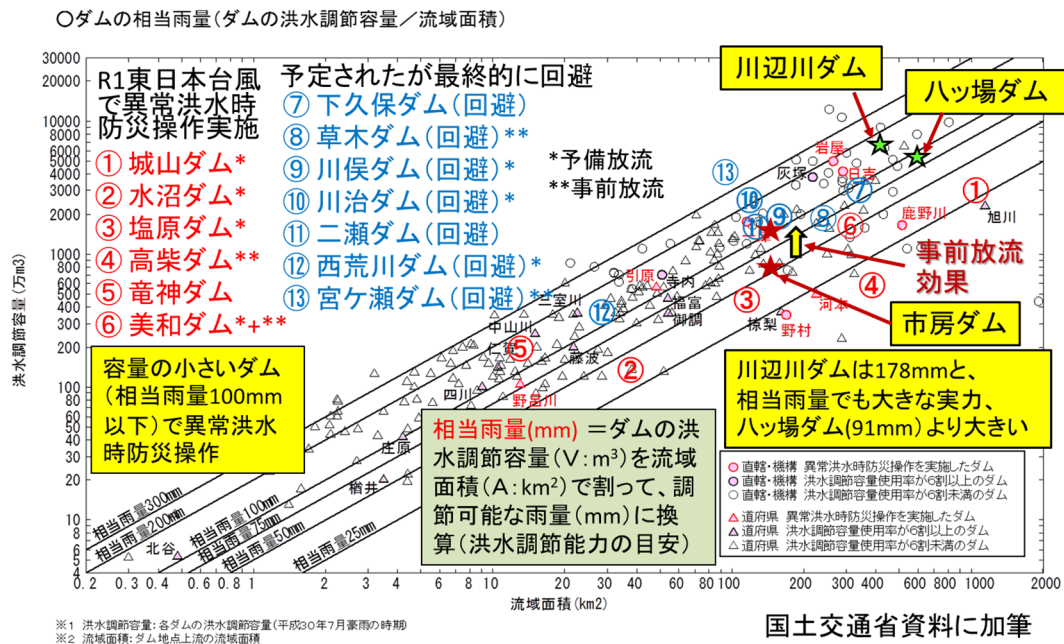


Fig.9 Comparison of relative flood control volumes and risks on Emergency Spillway Gate Operation

参考までに、川辺川ダムは、総貯水量容量で市房ダムの約3倍、洪水調節容量では約10倍である。川辺川ダムの相当雨量は178mmであり、ハッ場ダム(91mm)より大きい。ダムの流域面積～洪水調節容量～相当雨量の関係を Fig.9 に示す。近年、平成30年7月豪雨(西日本豪雨)や、令和元年東日本台

風などで全国的に異常洪水時防災操作(緊急放流)の事例が増加しているが、相当雨量で概ね50mm以下のダムが中心であり、100mm以上のダムでは、図中のように何とか持ちこたえている。市房ダムの事前の放流の効果、川辺川ダムの洪水調節能力はこの図からも明らかである。

なお、川辺川ダムの効果としては、1) 氾濫開始の遅延(約2時間)による「避難時間確保」、2) 氾濫水量の減少による「浸水被害軽減」、3) 洪水位の低下による「鉄道橋などの重要インフラの損壊回避」、また、4) ダムによる流木捕捉による「被害軽減(洪水+流木)」などの複合的效果が期待される。

2.4 ダムによる支川の氾濫抑制効果

川辺川ダムにより、人吉地点の本川水位を低下させることは前節で示した。今回の球磨川水害のもう一つの特徴は、本川に複数流れ込む支川の洪水氾濫であり、本川水位の低下により、流れ込む支川の流下や本川へのスムーズな合流を促進する効果が期待される。そこで本報では、富岳を用いた本・支川一体とする大規模2次元氾濫計算結果を紹介する。

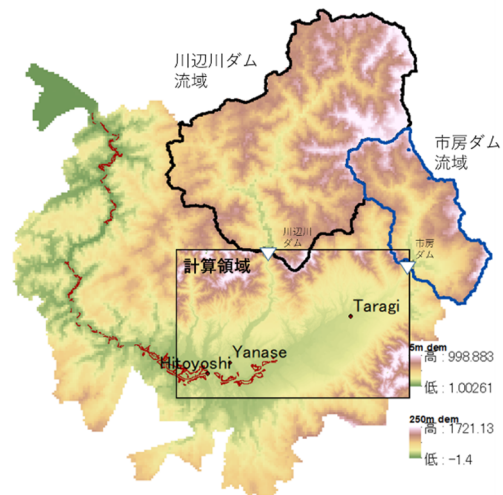


Fig.10 Numerical calculation domain

(1) 計算条件

Fig.10に2次元計算領域を示す。市房ダム地点からは実績の毎正時の観測流入量と放流量を、また、川辺川ダム地点では角・野原(2020)が流出モデルにより計算した計算流入量と、川辺川ダムがあった場合の計算放流量を与えた。計算領域は、5m解像度で、26.545km×16.995kmの範囲(5309×3399=18045291節点)で、計算開始時刻は2020/7/3 18:00、24時間の計算を実施した。降雨には気象庁解析雨量を用いている。この設定で富岳を用いると256CPUで30分程度の計算時間である。適用した浅水流方程式は以下のものである(Kobayashi et al., 2015)。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial uM}{\partial x} + \frac{\partial vM}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - gn^2 u \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial uN}{\partial x} + \frac{\partial vN}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - gn^2 v \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (3)$$

ここに、 h は水深、 n はマニング粗度係数(本稿では0.05)、 $M=uh$ 、 $N=vh$ 、 M 、 N は流量フラックス、 u 、 v はそれぞれ x 方向、 y 方向の流速、 H は水位である。計算領域最外縁では、完全越流公式に基づいて水が流出するとした。したがって、計算領域外における背水の影響は考慮していない。

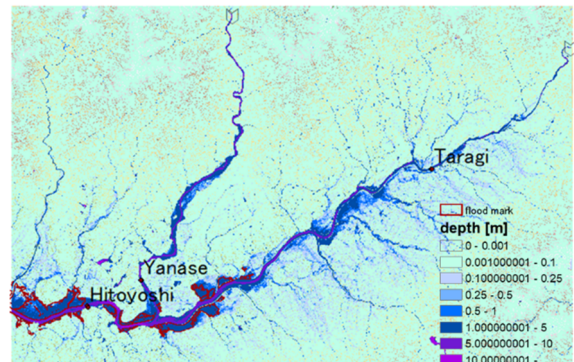


Fig.11 Calculated water depth (2020/7/4, 9:00:00)

(2) 計算結果

計算領域での水深計算結果をFig.11に示す。図の赤線は国土地理院(2020)による痕跡氾濫範囲であり、計算結果はこの痕跡によく一致している。

次に、人吉付近の水深計算結果を4つのケースで比較した。まず、市房ダムの洪水調節効果について、市房ダム無(観測流入量=放流量)をFig.12(a)に、市房ダム有(実績放流量)をFig.12(b)に示す。これらより、その差は比較的小さいことがわかる。これに、川辺川ダム有(最大放流量200m³/s)の場合をFig.12(c)に、さらに、両ダムからの放流量をゼロにして、両ダム流域以外の残流域からの水量のみを与えた場合をFig.12(d)に示す。最後のケースは、本川水位の上昇を抑えて、山田川において背水が生じにくい計算設定として、主に山田川流域単体における浸水を示すことを目的として実施したものである。

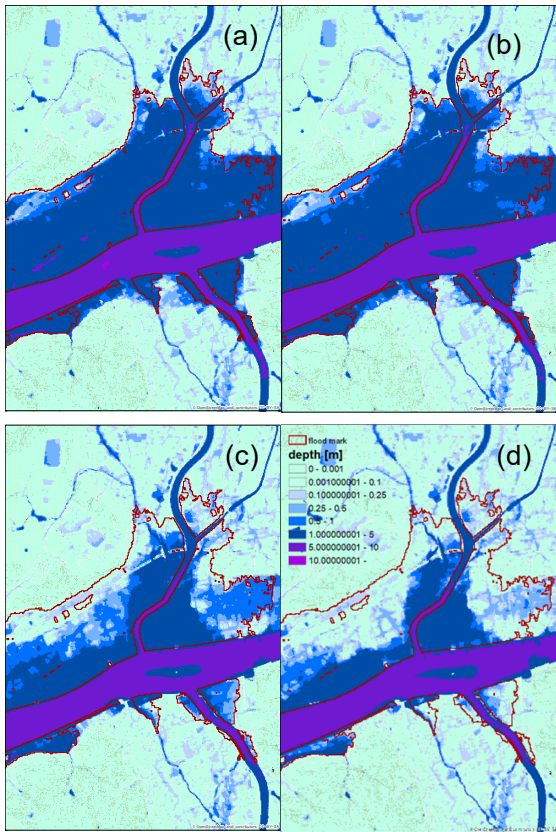


Fig.12 Calculated water depth at Hitoyoshi area (2020/7/4, 9:00:00) (a):Without flood control of Ichifusa and Kawabegawa dams, (b): Only with Ichifusa dam, (c): Both with two dams, (d): No discharge from two dams

Fig.12 (c) より、市房ダムかつ川辺川ダムがある場合は、大きな治水効果があることが見て取れる。なお、その場合でも浸水域が認められるのは、本計算では 5m 解像度の一般に入手可能な高解像度の標高データを用いているが、特に中小河川の局所的な堤防天端高（パラペット等含む）が必ずしも正確に再現できていないために、現実よりも氾濫しやすくなっていることが理由と考えられる。

この計算上の制約はあるものの、さらに詳細に人吉市街に対する浸水影響を検討した。まず、これら 4 ケースを対象に、Fig.13 に示す山田川の観測地点 3 における水深を Fig.14 に示す。これによれば、水位は 2 段階で上昇しており、特に、川辺川ダム無の場合には後半の水位上昇が大きいことがわかる。川辺川ダムが有れば、2 山目の水位上昇が 1m 程度抑えられることがわかる。さらに、浸水範囲内の青井阿蘇神社における水深を抽出したものを Fig.15 に示す。これによると、市房ダムがあることによる神社の水深低減効果は 0.18m、川辺川ダムがある場合は 0.94m となり、2 山目の水位上昇を抑えることで大きく浸水量が変化する。



Fig.13 Aoi-Aso Shrine and reference points in Yamada River

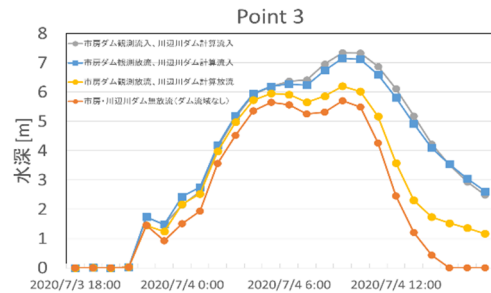


Fig.14 Water level change at Points 3

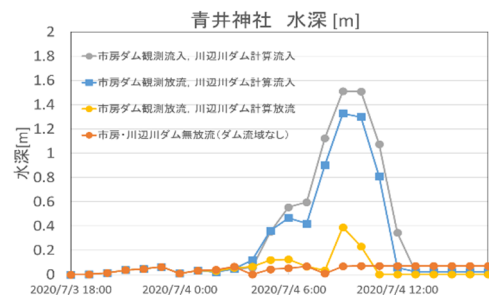


Fig.15 Water level change at Aoi-Aso Shrine



Fig.16 Inundation record and backwater effect (Review meeting of Kuma River Flood (2020))

また仮に、市房、川辺川ダムからの放流をゼロとする場合は、青井阿蘇神社付近の水深は7cmとなり浸水がほとんど発生しない計算結果になった。これらの浸水被害の違いは、国土交通省と熊本県による検証会議でも示されたように (Fig.16), 球磨川本川の水位上昇に伴って、山田川の流水が行き場を失うバックウォーター現象の有無に相当し、山田川単独では浸水被害はほとんど生じないことが明らかとなった。

3. 人吉医療センターの被災と対応状況

3.1 人吉医療センターの概要

独立行政法人地域医療推進機構 (JCHO) 人吉医療センターは、球磨川にかかる人吉大橋の左岸付近に立地する医療機関である (Photo.1, Fig.17)。同センターは、ベッド数 252 床、26 診療科、年間救急車搬入台数 2800 台、年間救急医療室 (ER) 受診数 7000 名の南九州 3 県の県境地域 (人口 18 万人) 唯一の急性期医療に特化した総合病院である (木村, 2020)。また、同センターは災害拠点病院に指定され、災害時の医療の拠点機能を担うほか、地域医療支援病院や第二種感染症指定医療機関にも指定されており、新型コロナウイルス感染症などの特殊な感染症の医療拠点の役割も担う、地域医療の中核的な機関である。

3.2 豪雨での被災状況

令和 2 年 7 月豪雨では、同センターは球磨川の左岸支川である胸川からの氾濫により建物の 1 階部分が浸水し、浸水や浸水対策による制約の中で災害時医療を提供することを余儀なくされた。同センターの周辺の浸水想定区域を Fig.17 に示す。図より、計画規模の洪水では浸水が想定されていないのに対し、想定最大規模の洪水では最大で 3~5m の浸水が想定されていることが分かる。通常、3~5m の浸水では建物の 2 階にも浸水が及ぶことを考えると、令和 2 年 7 月豪雨における人吉医療センターの浸水は計画規模の浸水想定と想定最大規模の浸水想定との中間であると言え、このことは上述の降雨の外力規模の特徴とも整合する。

この時の球磨川本川の水位 (人吉地点) および胸川の水位を Fig.18 に示す。図中の本川水位には、7 月 4 日 7:00 までについては国土交通省人吉地点の水位計データを、同水位計が欠測となった同日 8:00 以降については人吉大橋に設置された危機管理型水位計のデータ (以下、人吉大橋地点のデータと呼ぶ) から推定した人吉地点の水位を参考までに 1 時



Photo.1 Hitoyoshi Medical Center (With the Kuma River behind, July 23, 2020)

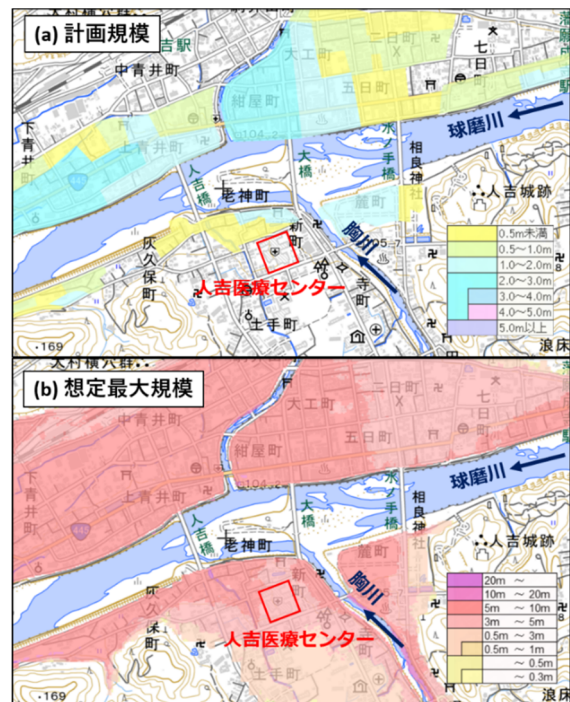


Fig.17 Flood Hazard Map around Hitoyoshi Medical Center : (a) Planned flood level, (b) Expected maximum flood level (Modified from the Geospatial Information Authority of Japan "Layered Hazard Maps")

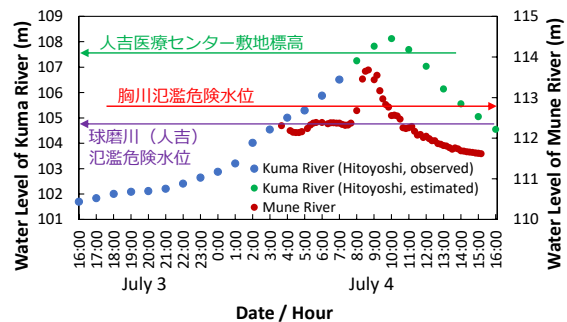


Fig.18 Water level changes at Kuma River (at Hitoyoshi) and Mune River

間単位でプロットしている。また、胸川の水位については、熊本県が設置している胸川地点（本川合流部より 1.5km ほど上流に位置）での観測水位を、データが取得できた 7 月 4 日 3:40 以降の 10 分データを示している。

Fig.18 より、人吉地点での球磨川本川の最大水位が氾濫危険水位を大きく超過していること、胸川においても遅くとも 7 月 4 日 8:20 から同日 9:30 にかけて氾濫危険水位を超過していたことが分かる。なお、胸川観測地点は胸川の本川合流部より 1.5km ほど上流に位置しており、観測記録からも今次洪水では球磨川本川からの背水の影響範囲外であったことがうかがえる。

また、Fig.18 に国土地理院の地理院地図より読み取った人吉医療センターの敷地の屋外駐車場の標高（球磨川本川と支川の胸川に近い北東側の最低標高である T.P.107.6m）を付記しているが、推計された球磨川本川人吉地点の水位と比較すると、7 月 4 日 8:30 頃から 11:00 頃にかけて、球磨川本川の水位が同センターの敷地標高を上回っており、その差は最大で 60cm 余りであった（同日 10:00）。仮にこのときの人吉医療センター敷地での屋外駐車場の浸水面と本川の水面の標高が同等であったとすると、浸水深は 60cm 程度となり、後述する病院のヒアリング回答内容と整合的である。

3.3 ヒアリング結果

清水建設株式会社と京都大学は、現在、医療施設の水害対策の高度化に関する共同研究を進めている。その一環で、今次の災害時における人吉医療センターの対応状況や災害時医療における課題を把握するため、災害対応が一段落した 2020 年 11 月に書面でのヒアリングを実施後に、12 月 8 日に人吉医療センターの木村正美院長および医師・職員の方にオンラインでヒアリングを共同で実施した。

以下の節では、本災害での人吉医療センターの対応状況について、ヒアリングを通じて得られた回答内容を野原ら（2021）を元に整理して示す。なお、ヒアリングは事前に木村院長が執筆した報告（木村、2020）を参考に行ったため、ヒアリングに対する回答項目には同報告に既に記載されている事項も含まれている。

(1) 発災前の状況

(a) 浸水リスクの認知と BCP（ソフト対策）

- ・ 人吉医療センターは、Fig.17(a)に示す計画規模の洪水ハザードマップでは浸水想定区域外に立地しており、かつ昔から球磨川左岸は浸水の

危険が比較的小さいと伝承されていたことから、災害時の BCP は地震対策が中心であった。

- ・ 人吉市役所が同センターへ、想定最大規模に即した水害対応計画の策定見直しを依頼した時期が被災直前の令和 2 年 6 月であったことから、行政側も同センターの浸水リスクを地域防災上の課題として十分には認識していなかった可能性が考えられる。
- ・ 同センターは浸水対策として患者の垂直避難を BCP に盛り込んでいたものの、想定最大規模を踏まえた水害に特化した BCP は見直し途上にあった。しかし、災害時の運営を円滑に行うための対策は綿密に整備されており、平時から災害対策、災害医療、防火対策、消防訓練、災害実働訓練、DMAT 対応、災害備蓄などを地道に行ってきたことが、今回の被害を最低限に抑えられたことに大きく寄与していると推察される。

(b) 建築や設備面での対策（ハード対策）

- ・ 人吉医療センターの受電設備はすべて 2 階以上、非常用電源（発電機）は 10 階に設置されており、サーバー室は 3 階に設置されていた。また、病室は全て 4 階以上にあり、これらの点では浸水には強い設備構造となっていた。
- ・ 一方で、医療施設計画の一般的な考えにもとづき、画像診断機器や ER は患者のアクセスしやすさや救急車の寄り付きに配慮された 1 階に設置されていた。また、万一の浸水に備えて、建物出入口に防水板を設置できるよう、防水板の固定用設備などの設置工事がなされていた。

(2) 発災直前～発災時の状況

(a) 防水板の設置と被災前の対応

- ・ 7 月 4 日 6 時頃には球磨川が右岸から越水し始め、その後、テレビで上流の市房ダムで 8 時 30 分から異常洪水時防災操作を開始することが予定されている（結果的には同操作は実施されなかった）ことを知り、防水板の設置を決定した（Photo.2 を参照）。土曜日の早朝であったため在勤職員数が少なかったことと、市街各所の道路が冠水していたことにより参集が困難であったため、限られた人手（2 名）で 7 時過ぎより防水板を設置した。既に 1 か所の出入口は防水板を設置していたので、残り 7 か所の出入口における防水板の設置を行い、徐々に作業に携わる職員数が増えたものの、全て設置するまでに 45 分を要した。なお、防水板の設置は初めての経験であった。

- ・一方で、ER 搬入口の防水板は救急患者の受入れを優先するため浸水が進行するまで設置できなかった。地域医療を担うこの拠点病院へは、次から次へと患者が救急搬送されてくるので、すみやかに患者を建屋内に搬入するためには止むを得ないことと考えられる。（本災害では、人吉市内の他の救急指定病院や産婦人科医院が被災したため、発災後は人吉医療センターが地域の全ての救急車や妊婦を受け入れることとなった）
- ・また、1 階にあったコンピュータやモニター、超音波診療機器、ポータブルレントゲンなどを高い所へ上げるとともに、CT や MRI など大型画像診断機器室やカテーテル室への浸水を防ぐために扉の隙間に毛布やタオル、検査着、紙おむつなどを詰めるなど、大型医療機器を守るための準備が行われた。

(b) 浸水の状況

- ・支川の胸川からの氾濫水により病院が浸水した。まず、病院の屋外駐車場と周辺道路が浸水した。屋外駐車場の浸水深は最大で 60cm ほどとなった。病院への浸水以前から、出入口の自動ドアの排水口から水が逆流してしみ出してきたが、布で押さえたところ、病院内へ水が入ってくることはなかった。
- ・7 月 4 日早朝から救急車が絶え間なく病院へ患者を搬送する状況であったので、救急の出入りのために ER の搬入口には防水板を設置していなかったが、8 時 30 分ごろ ER 搬入口にも防水板を設置した。そのため、救急車からの患者搬入は担架に移し、手渡しで患者を病院内に運んだ。（この後、救急要請に対応する救急車も水没・走行不能となり道路の水が引くまで救急患者の搬送は途切れた（木村, 2020））
- ・前述の ER 搬入口や、周辺住民の避難受け入れのために完全に閉鎖していなかった出入口からの浸水により、病院内の浸水は 9 時 30 分頃には約 10 cm となった。放射線医療機器を設置している部屋などは、前述の部屋単位での浸水対策の効果もあり、5 cm 未満の浸水であった。もう少し浸水深が高ければ、ER で使用する電子機器や放射線医療機器の電子基板が水没し使用できなくなった可能性があったが、幸いにしてそれ以下に浸水深を抑えることが出来た。

(c) 情報収集の手段と不足した情報

- ・情報収集は、防災無線および災害メール、テレビ報道、ラジオ情報、国の河川ライブカメラ情報を参照して行った。



Photo 2 Installed water gate (July 23, 2020)

- ・一方で、近隣の病院、特養などの高齢者施設の状況や、災害の全体像（災害の程度）、警察や自衛隊の動きや連携状況などの情報は不足しており、初動対応を難しくした。

(3) 災害医療体制

- ・災害対策本部を 7 月 4 日 10 時に立ち上げて 4 階に設置し、災害医療体制に移行した。災害医療エリアについては、浸水の影響を抑えるため、本来の 1 階 ER から 2 階に移し、平時に行っていた災害訓練通りにトリアージ、ゾーニングして怪我人や避難者の対応にあたった。災害医療体制は 7 月 5 日 22 時にかけて 36 時間継続した。
- ・入院患者については、全て 4 階以上のフロアに入院していたため、避難等は必要でなかった。ただし、人吉・球磨地域の被災状況が明らかになるにつれ、要救助者が多数に及ぶとの情報が入り、被災地域からの搬送に備えて病院内の空き室を確保するために、退院可能な入院患者には退院してもらうなどの調整を行った。
- ・救急搬送の受入れについては、前述のように球磨病院など他の救急指定病院が被災したため、地域内の全ての救急搬送を受け入れた。発災後の 2 日間で軽傷 36 名、中等症 14 名、重症 7 名、トリアージ以外の患者を含めると計 118 名（死亡者を除く）、救急車 63 台を受け入れた。患者は浸水による低体温症が多かったが、中には浸水から逃れるため 2 階の屋根に辛うじて裸足で逃げて、足の裏を火傷した患者もいた。また、球磨村千寿園からは、トリアージ赤・黄の患者を中心に 17 名を受け入れた。（トリアージ緑の患者はより遠方の医療施設などへ搬送。）
- ・人吉医療センターは第二種感染症指定医療機

関でもあり、新型コロナウイルス感染症の患者も受け入れているが、災害の発生により、特に他の医療圏で発生した新型コロナウイルス感染症患者の受入れを断らざるを得なかった。また、発災前に準備していた新型コロナ用病床も一時的に使用せざるを得なかった。

- ・同センターは DMAT など避難者等への災害時医療の拠点も兼ねていた。しかし、災害後の同センターの病床稼働率は 100%に近い状態であり、そのような状況下で関係者や患者に新型コロナウイルスへの感染が発生すると、クラスター発生の可能性や最悪の場合には病院機能の停止などが想定され、地域医療は完全に機能不全に陥ったと考えられる。

(4) 災害後の対応

(a) 診療機能の復旧

- ・7月4日11時頃には天候が回復し、病院内に入った水を掃き出し、浸水を解消するとともに、床や壁の清掃を行って泥等を排除し、翌日にかけて衛生環境を整えた。大型医療機器やエレベーターも翌日には業者が入って再稼働できた(エスカレーターはすぐに復旧せず)。
- ・ライフラインは、地下水タンクが浸水したため市の水道に切り替えて節水運用するとともに、備蓄水も活用した。電気供給は問題が無く、災害医療体制を終了した翌日の7月6日から平常診療が可能となった。
- ・診療機能の復旧を容易にした要因としては、病院の勤務者や参集者が医療機器を事前に上層階へ移動させたことが挙げられる。また、防水板を設置して、病院内の浸水を10cm程度に、放射線機器室や心臓カテーテル室の浸水を4cm程度に抑えることができたことも大きい。特に、ERの電子機器は10cm以上の浸水で、放射線医療機器は5cm以上の浸水で壊れてしまうことから(CTの場合ガントリー基板に泥水が達し修理不能となる(木村, 2020))、浸水深が上述のレベルを超えていた場合には、災害後の診療機能の低下、復旧の長期化が生じていた可能性がある。

(b) 想定外であったことの整理

- ・前述のとおり、行政側からの浸水ハザード見直しの働きかけが始まった段階であったこともあり、想定最大規模に備えたBCPの見直しは開始した段階であった。そのため、例えばER搬入口への防水板設置とストレッチャーを用いたスムーズな患者の搬送等、災害拠点病院とし

ての機能維持と浸水対策との両立方法や、インターネット等通信手段が途絶した際の患者や他院との連絡方法などは詳細な手順の策定には至っていなかった。

(c) 有用であったことの整理

- ・災害により多くの通信手段が利用できなくなったため、病院内での連絡にはトランシーバが有用であった。また、LINE等を使って一部の職員との連絡を行ったり、産婦人科医師がFacebookを使用して状況を妊婦に周知したりするなど、SNSの活用が有効であった事例もあった。
- ・インターネット回復後は、2019年4月より熊本県が進めてきた、くまもとメディカルネットと呼ばれる患者情報共有システムの情報を利用することで、災害により紙カルテが流失した開業医での診療や、薬やお薬手帳を流失した患者の診療再開に大きく役立った。ただし、電子カルテについては、基地局が浸水するなどしてインターネットが停止していると、クラウド型の電子カルテを利用している場合や電子カルテのユーザー認証を外部のデータセンターを介して行っている場合には、電子カルテにアクセスできなくなってしまうため(木村, 2020)、平時より病院の端末やセキュリティの確保された外部のミラーサーバーに一定の情報を保存しておく工夫も必要である。

(5) 被災を踏まえての改善点

- ・同センターでは、被災以降も防水板の設置訓練等職員を対象にした研修や災害訓練を積極的に行っている。今後予想される気象変動に伴う線状降水帯による大雨等水害の頻発化に備え、浸水対策に特化した要綱を策定し、災害時にも医療提供を維持することのできる組織体制や情報伝達手段の再構築が必要である。
- ・病院建物や機器等の浸水対策として、1階の出入扉のガラス部分の強化や防水板の追加(二重防水)のほか、医療機器を浸水から守るための防水シートの活用、浸水想定時のエスカレーターやエレベーターの運用方法の変更が検討である。
- ・外部との通信や情報収集体制の面での対策では、災害時の通信手段として携帯電話(スマートフォン)の増台や、衛星インターネットの購入などが挙げられる。そのほか、外部からの支援として有用であるものとしては、携帯電話移動基地局の設置や他のJCHO医療機関からの医師や看護師の応援派遣などが考えられる。

- ・ 水害 BCP については、災害の規模や被害の大きさによって、医療活動の継続可能性が大きく異なるため、災害の規模に見合った複数の継続計画を用意していくことが重要となると考えられる。なお、今回以上の浸水が病院で発生すれば、病院は完全に機能不全に陥る可能性があり、こうした場合にどのように医療を継続していくか、検討していく必要がある。

4. おわりに

本稿では、令和2年7月豪雨で大規模な氾濫が発生した球磨川流域における降雨-流出特性、既設の市房ダムおよび計画されていた川辺川ダムによる洪水調節効果の検討を行った。また、人吉地点の本川水位の低下による流れ込む支川の氾濫と市街地の氾濫被害の軽減効果について大規模2次元氾濫計算を用いた考察を行った。さらに、人吉・球磨地方の医療の拠点である人吉医療センターによる水害時の対応状況についてのヒアリング結果を報告するとともに、それを踏まえた拠点医療機関の水害対策の課題と今後の方向性について考察を行った。

その結果、明らかになった点は以下の通りである。

(1) 降雨-流出特性について

日雨量で 400mm を超え、計画規模を超える降雨であった。線状降水帯の動きに合わせて強雨域が南から侵入して北上した後、再び南下し強い雨が2回球磨川流域に発生した。その結果、球磨川本川および川辺川からの洪水流出が重なり人吉で氾濫が発生した。各河川の流量割合は、球磨川本川：川辺川 = 0.567:0.429 であり、ほぼ流域面積相当であった。

(2) 市房ダムの効果

洪水調節と流水の正常な機能の維持および発電機能を有する多目的ダムであり、計画に位置付けられた予備放流に加えて、ダムによらない治水政策の一環でさらなる活用が検討されていた。前日からの予測に基づく予備放流 (273.3m→271.8m へ約 1.5m 低下 (約 10 時間) により、洪水調節容量を増加 (850 万から約 770 万 m³ 増：合計 1620 万 m³) (相当雨量 (上流域面積あたりの容量)：54→103mm に増大) し、下流の被害拡大抑制に大きく貢献した。ただし、流域面積は限られ、これだけで洪水を受け止めるのは困難であった。

(3) 川辺川ダムの効果

ダム地点に流れ込んだ流量は約 1 億 2 千万 m³ (ピ

ーク流量：約 2,500m³/s) と推定された。川辺川ダムは、総貯水量容量で市房ダムの約 3 倍、洪水調節容量では約 10 倍である。川辺川ダムの相当雨量は 178mm であり、ハッ場ダム(91mm) より大きい。緊急放流が心配されているが、想定されている洪水調節容量があれば、今回の洪水規模でも十分な洪水調節が可能である。仮にこれを超える流入量でダムが満水になる可能性が発生した場合においても、それまでに洪水を十分に貯留し、洪水ピークを遅延させて、球磨川本川や支川からの洪水波形との合流を防止し、大幅に浸水リスクを減少させることが期待される。なお、こうした川辺川ダムの効果は以下のように整理される。

- ・ 本川の水位上昇を抑えて、「支川のバックウォーター氾濫の防止」
- ・ 氾濫開始の遅延(約2時間)による「避難時間確保」
- ・ 氾濫水量の減少による「浸水被害軽減」
- ・ 洪水位の低下による「鉄道橋などの重要インフラの損壊回避」

(4) 人吉医療センターの水害対策について

同センターは南九州3県の県境地域唯一の急性期医療に特化した総合病院であり、災害拠点病院に加えて第二種感染症指定医療機関にも指定され、地域医療の中核的な機関であった。今回の水害に関して得られた教訓をまとめると、以下のように整理される。なお、これらの教訓と対策についての詳細は、野原ら (2021) を参照されたい。

- ・ 従来から参照していた計画規模洪水での浸水想定では浸水が想定されていなかったにも関わらず、浸水時の適切な水害対応により病院内の浸水深を最低限に抑え、災害時の医療機能の提供と平時医療機能の早期復旧が行えた。
- ・ 受電設備や非常用電源 (発電機)、サーバー室、病室の上階への配置や防水板の設置などが有効であった一方、ER 搬入口など完全に閉鎖できなかった出入口からの浸水が課題として明らかとなった。
- ・ 病院内の浸水があと少し深ければ、大型電子医療機器の浸水により医療機能に深刻な支障が生じていた可能性があった。今後は、こうした病院建物特有の浸水脆弱性を十分に評価した上で、災害対応計画や建物構造、設備配置を検討していく必要がある。
- ・ 災害時に拠点となる医療機関に対しては、行政側が迅速かつ積極的に最新の浸水想定情報を丁寧な説明を付して伝えていくことが重要である。
- ・ 災害時における地域医療の継続性の観点からは、

地域の医療の拠点機関の立地は相対的に水害リスクが小さな土地が望ましく、この点は地域全体で考える必要がある。一方で、令和2年7月豪雨における人吉地方の事例では、患者情報の電子共有システムの運用が地域診療の復旧を容易にした面もあり、地域医療の継続性におけるこうした情報システム運用の効果について今後さらに検討していくことが望まれる。

なお、人吉医療センターの浸水は左支川胸川の氾濫水の侵入が影響しているが、これが発生するための球磨川本川の水位条件、および、これを予め降雨-流出モデルにより予測する技術についてさらなる検討が求められる。

著者らは、現在、内閣府のSIP（戦略的イノベーション創造プログラム）の「国家レジリエンス（防災・減災）のテーマVI「スーパー台風被害予測システムの開発」の枠組みで、河川・ダム of 長時間洪水予測・防災支援システムの開発に参加している。その成果として、大河川の本川に加えて、全国の中小河川を含めた、高解像度の降雨流出予測システムの開発が進められており、今後は、このような成果の活用が期待される。

謝 辞

人吉医療センターの木村正美院長および職員の皆様には、災害後のご多用中のところ、ヒアリングに快くご対応いただき、水害時の状況についてご教示いただくとともに、多くの重要なご示唆を頂いた。著者一同、ここに深甚なる謝意を表す。

参考文献

気象庁 (2020) : 令和2年7月豪雨, p.1.
木村正美 (2020) : 令和2年7月豪雨における人吉市医療機関の状況, 病院設備, Vol.62, No.4, pp.74-79.
九州医事新報社 (2020) : コロナ感染拡大下の災害と病院—令和2年7月豪雨・熊本, 九州医事新報 2020年8月号, p.1.
国土交通省 (2006) : 工事実施基本計画と河川整備基本方針 (案) の基本高水のピーク流量の算出方法について (球磨川水系), 社会資本整備審議会河川分科会第48回河川整備基本方針検討小委員会参考資料3.
国土交通省九州地方整備局, 熊本県 (2017) : 球磨川治水対策協議会

国土交通省九州地方整備局 (2020) : 第一回令和2年7月球磨川豪雨検証委員会説明資料, http://www.qsr.mlit.go.jp/yatusiro/site_files/file/bousai/gouukensho/20200825shiryou1.pdf (2020年2月15日)
国土地理院 (2020) : 令和2年7月豪雨に関する情報, https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R2_kyusyu_heavyrain_jul.html#9 (2020年2月15日)
後藤浩・寛雄太・石野和男・竹澤三雄 (2014) : 医療機関の洪水に対する防災・減災対策に関する調査—東京都東部デルタ地帯・博多湾沿岸地帯を例にして—, 土木学会論文集 F6 (安全問題), 70(2), I_93-I_98.
角哲也・野原大督 (2020) : 2020年7月球磨川水害速報 (市房ダムおよび川辺川ダムに着目して) http://ecohyd.dpri.kyoto-u.ac.jp/content/files/DisasterSurvey/2020/report_KumaRiverFloods2020_v3.pdf (2020年2月15日)
東京都災害医療協議会 (2020) : 災害拠点病院・災害拠点連携病院の機能強化に関する検討部会 検討のまとめ.
野原大督・角哲也 (2020) : 浸水想定区域図やハザードマップを利用した全国の感染症指定医療機関の浸水想定状況の調査, 自然災害科学, 39(2), pp.101-112.
野原大督・角哲也・鳥山亜紀・長谷川夏来 (2021) : 令和2年7月豪雨災害から示唆された拠点医療機関の水害対策の課題と方向性, 土木学会論文集 B1 (水工学). (印刷中)
湯浅恭史・中野晋・岡野将希 (2019) : 豪雨被災事例からみる医療機関における浸水被害時の事業継続についての考察, 土木学会論文集 F6 (安全問題), 75(2), I_217-I_226.
Hirockawa, Y., Kato, T., Araki, K. and Mashiko, W. (2020) : Characteristics of an extreme rainfall event in Kyushu district, southwestern Japan in early July 2020, Scientific Online Letters on the Atmosphere (SOLA), Vol.16, pp.265-270.
Kobayashi K., D. Kitamura, K. Ando, N. Ohi (2015) : Parallel computing for high-resolution/large-scale flood simulation using the K supercomputer, Hydrological Research Letters, 9-4, pp. 61-68.
Kojiri, T. (2006) : Hydrological River Basin Environment Assessment Model (Hydro-BEAM), Watershed models, Taylor & Francis, CRC Press, pp.613-626.

(論文受理日: 2021年8月31日)