

災害拠点病院での水害タイムラインの策定と実運用による実証

長谷川 夏来 長谷部 雅伸 河上 展久 鳥山 亜紀 小倉 裕之
(技術研究所) (技術研究所) (土木技術本部) (設計本部) (設計本部)
佐山 敬洋 角 哲也
(京都大学) (京都大学)

Developing and Operation of Timeline for Flood Disaster Prevention Customized for Disaster Base Hospital

Natsuki Hasegawa, Masanobu Hasebe, Nobuhisa Kawakami, Aki Toriyama, Hiroyuki Ogura, Takahiro Sayama and Tetsuya Sumi

近年、豪雨の激甚化・頻発化により医療機関の浸水被害が増加、地域医療の要となる災害拠点病院が被災する事例も発生している。災害下でも医療機能をロバストに維持するため、水害タイムライン等ソフト対策も進められている。タイムラインの病院への適用での課題として、患者の容態への影響が懸念される移床等は空振りを低減するため正確な実施判断が必要という点がある。本研究では災害拠点病院である人吉医療センターを対象に洪水予測を取り入れた水害タイムラインを構築、令和4年台風第14号で実運用し、対策をピーク水位到達9時間前から開始する等有効性を確認した。

In recent years, there have been many cases of hospitals being damaged by floods. In this study, we developed and implemented a timeline customized for disaster base hospital. The timeline was operated in disaster prevention actions against typhoon Nanmadol (2022), and the staff at Hitoyoshi medical center were able to start disaster prevention tasks 7 hours before the time of peak water level of the Kuma river. It was confirmed that timeline is effective in hospital's disaster preparedness.

1. はじめに

近年、気候変動の影響により豪雨の激甚化およびそれに伴う水害が増加しており、災害時に被災者の命を守る病院が浸水被害を受ける事例も複数発生している。全国の765の災害拠点病院(令和4年8月時点)のうち28.9%、7406の非災害拠点病院のうち27.6%が洪水浸水想定区域内に立地することから、今後も類似の被害が懸念される。防水板等のハード対策だけでは防ぎきれない規模の浸水が想定される病院もあり、ソフト対策など医療機能をロバストに維持するための対策強化が喫緊の課題と言える。

ソフト対策のひとつとして、近年タイムライン防災が注目を集めている。タイムライン防災では、災害の発生を前提に発災までの間の行動計画について「いつ」「何を」等詳細に計画することで、遅れない避難など安全な防災行動に繋げるものである²⁾。医療施設にこれを適用する場合の難しさとして、手

術の継続・中止判断といった判断は遅れと空振りのいずれもが患者のリスクに繋がりをため、十分な準備時間の確保と、高い予測精度に基づいた正確な判断の両面が求められるという課題がある。このため、災害の状況を正確に予測するためには、医療だけではなく河川や建築・設備といった視点も含めた多面的な検討が求められる。

そこで本研究では、災害拠点病院である人吉医療センター、京都大学、清水建設の3者で医療・河川工学・建築設計の視点を交えて水害タイムラインを策定、実運用を通じその有効性を検証した。具体的には、ハザードマップや過去の災害履歴など客観的なデータに基づき水害シナリオを評価・策定したのち、精度と実行性の両面を考慮しながら防災行動の開始基準(以下、本稿ではトリガーという)を設定し、タイムライン一覧表としてまとめた。さらに、策定したタイムラインを令和4年出水期に実運用、検証した。

2. 人吉医療センターの概要

人吉医療センターは熊本県人吉市にある災害拠点病院である。人吉医療センターの立地を図-1に示す。熊本県南部、鹿児島県および宮崎県との県境地域に立地しており、このエリア唯一の急性期に特化した総合病院である。隣接する二次医療圏の災害拠点病院は八代市、水俣市にあるが、いずれとも山地で隔てられており災害時の医療圏間の患者搬送は必ずしも容易ではない。すなわち、球磨地域においては、平時から災害時にかけて人吉医療センターが医療機能を維持することが重要と言える。

令和2年7月豪雨では、7月3日夜から4日早朝にかけて発生した線状降水帯による豪雨の影響で球磨川が氾濫、人吉市でも甚大な被害が発生した。人吉医療センターでは、球磨川の水位上昇の影響で病院東側を流れる胸川がバックウォーター現象により氾濫、床上浸水が発生した。同センターは自院の復旧対応と同時に、災害拠点病院として他院からの患者受入れなど緊急の医療需要に応えることを余儀なくされた³⁾。今後、令和2年7月豪雨と同程度の降雨があったとしても浸水の影響を最小限に防ぐことを目指し、水害タイムラインの策定を開始した。

3. タイムライン策定の手順

本検討でのタイムライン策定プロセスを以下に述べる。

3.1 STEP0: 立地特性の整理と水害シナリオの設定

まず、ハザードマップから人吉医療センター周辺のハザードを確認した。計画規模、想定最大規模それぞれの人吉医療センター周辺の浸水想定を図-2に示す。計画規模では浸水が想定されていない一方、想定最大規模では3~5mの浸水が想定されている。これに対し、令和2年7月豪雨では病院屋外が50~70cmほど浸水³⁾したため、計画規模以上、想定最大未満の浸水であった。各ハザードの詳細を表-1に示す。大本らの研究⁴⁾によると、令和2年7月豪雨は年超過確率1/400程度の規模と見られ、計画規模(1/80程度)より大きな降雨であった。これは浸水の実態とも合致する。表中の3事例を比較し、タイムラインで想定する災害の規模を選定した。病院地点での浸水が想定される2シナリオのうち、想定最大規模では1階が大きく浸水するなど現実的な対応が難しいこと、年超過確率はおよそ1/1000と稀な事象であることを総合的に考慮し、今回は令和2年7



図-1 人吉医療センターの立地

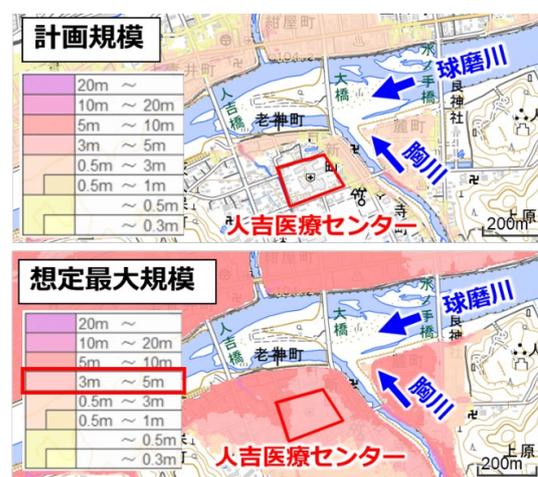


図-2 人吉医療センター周辺の浸水想定
(ハザードマップポータルサイト⁴⁾の画像を加工して作成)

表-1 各ハザードの比較

想定および実災害	計画規模	R2年7月豪雨	想定最大規模
年超過確率	1/80 ⁶⁾	1/400 ⁵⁾	約1/1000 ⁷⁾
人吉上流域の流域平均雨量	262 mm/12hr ⁵⁾	321 mm/12hr ⁶⁾	502 mm/12hr ⁷⁾
病院地点の浸水深	0m ⁴⁾	0.6m ⁴⁾ (駐車場)	3-5m ⁴⁾
床上浸水の可能性	なし	防水板活用で対処可	1階部分が浸水
想定される建物/設備被害	なし	屋外の浸水など	1階の各種機器類 水損など

月豪雨を想定シナリオに選定することとした。

人吉市などが策定した『球磨川流域タイムライン⁸⁾』でも同災害が水害シナリオとして用いられていることから、将来的に市と病院が並行して災害対策活動をする際にも、両計画間での齟齬が生じにくいと考えられる。

3.2 STEP1:建物・建築設備の浸水リスクの整理

次いで、建物の脆弱性をハード面から評価するため、STEP0で調査した3種の浸水想定について、それらが建物や設備に及ぼす影響を検討した。具体的には、図面調査や現地調査をもとに、設備類などの高さ情報を収集し、何メートル程度の浸水でどのような機能が停止しうるかを整理した(表-1 下段)。この際、例えば非常用電源は、発電機の設置位置だけではなくこれに付帯するオイルタンク、ポンプ位置も確認し、システム全体としてのリスクを評価した。また、建物1階の排水溝など逆流の危険がある箇所や浸水経路となりうる危険箇所も確認した。

3.3 STEP2:防災準備業務の抽出・整理

令和2年7月豪雨時の実際の業務のほか、前節で選定した災害シナリオ、およびハード面の被害想定をもとに、必要な防災準備業務を抽出した。23の部署でのべ230項目が挙げられた。これらを、着手すべき大まかなタイミングに応じて5段階(以下ステージと呼称)に分類した。

- ステージ1: 準備(平時～発災12時間前)
- ステージ2: 対策開始(発災12～6時間前)
- ステージ3: 仮本部設置(発災6～4時間前)
- ステージ4: 対策本部立ち上げ(発災4～2時間前)、
- ステージ5: 最終確認(発災2時間前～発災)。

また、タイムライン計画上での発災(ゼロアワー)の定義は人吉市街地での氾濫発生とした。ゼロアワーの選定にあたっては、病院に氾濫流が到達する時点、人吉市内で氾濫が発生する時点など様々なケースが想定されたが、人吉医療センタースタッフの「市内で氾濫が起きるなど、病院が災害体制に移行すべきタイミングとしたい」という方針のもとに、人吉市内で氾濫が発生するタイミングをゼロアワーに選定した。

さらに、各防災準備業務の実施に必要な時間を検討・設定した(例: 備品確認に15分、など)。一部部署では小規模な訓練を実施するなどし、作業時間を設定した。さらに業務と業務の繋がりを確認し、順に実施する必要がある業務はその合計時間を算出、各ステージの時間内に実施できることを確認した。

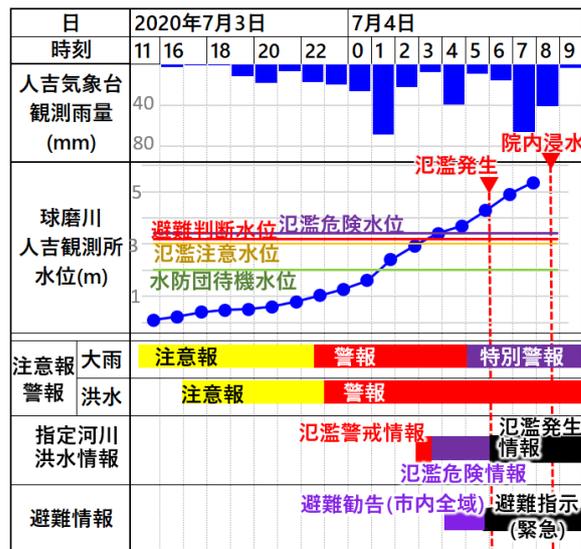


図-3 令和2年7月豪雨時の各種災害情報の発表状況

3.4 STEP3:トリガー(スイッチ情報)の設定

前ステップまでの検討をもとに、防災行動業務を開始するトリガーとする災害情報を選定した。

1) 実況値トリガーの設定

STEP0で選定した想定シナリオ(令和2年7月豪雨)における雨量や河川水位の時系列変化を図-3に示す。横軸を時間とし、人吉气象台での観測雨量(mm/h)、球磨川人吉水位観測所での水位(m)、人吉市での気象予警報等の発表状況を一覧にして示した。これと、前項で定めた作業時間(リードタイム)を比較し、発災時刻から逆算、各ステージの防災行動業務の開始タイミングに合致する災害情報をトリガーとして選定した。発災6時間程度前の目安となるステージ3移行段階以降は、球磨川人吉水位観測所の観測水位をトリガーに採用した。河川水位を選定した理由は、氾濫の危険性を直接的に確認できる情報であり、病院の災害対応実施判断に適切であると考えたためである。令和2年7月豪雨時の記録をもとに、1.5m、2.0m、3.0m、3.2mと具体的な数値を設定した。

また、発災12時間前の目安となるステージ2移行トリガーには洪水注意報を選定した。急激に水位が上昇する球磨川では河川水位のみをトリガーとして6時間以上のリードタイムを確保することは難しいため、活動初期のトリガーには洪水の危険を早期に知らせる情報である洪水注意報を採用した。これにより、急激な水位上昇が見られた令和2年7月豪

雨の事例でも氾濫まで13時間のリードタイムを見込むことができる。

2) 予測値トリガーの設定

トリガー情報には、現在の状況を把握するための実況値だけではなく、その後の災害状況の変化を推定するための予測値の2つを設定した。これにより、状況の悪化が想定される場合のみ対策を進め、逆にそれ以上の洪水がない場合には対策の実施の様子見できる体制とし、空振りの低減を図った。

ステージ2から3への移行段階では予報雨量をトリガーに採用した。雨量の設定にあたり、球磨川で過去に水位上昇が見られた降雨イベント全8ケースについて、人吉水位観測所水位1.5m(ステージ3移行基準)から2.0m(ステージ4移行基準)までの間の人吉气象台での観測雨量を集計した(表-2)。一例として図-4に平成30年7月の降雨での雨量と水位の比較を示す。図より、水位1.5m到達から2.0m到達までの間に累計56mmの降水が観測されたことが確認できる。表-2に示す通り、全8事例中4事例で集計期間中の累計雨量が50mmを超えていることが確認された。そこで、ステージ3移行トリガーの予測値を「2~3時間以内に累計50mm以上の雨が予想される」とした。参照する雨量は、本来ならば河川水位により強く影響する流域平均雨量を用いることが望ましいが、今回は運用性の観点からより一般に入手しやすい地点雨量を採用した。

ステージ4~6の、災害が差し迫った段階の予測値としては、『全国版RRIモデル⁹⁾』による4時間先までの河川水位予測を採用した。洪水予測で現在の河川水位から更に上昇することが見込まれる場合には対策を進め、逆に予測水位が低下する見込みの場合には対策の様子見する。ステージ4以降では患者の移床など負担の大きい業務が増えるため、洪水予測の導入により対策実施判断の精度向上を図った。

3) 設定したトリガーの実効性の確認

設定したトリガーを図-5の『トリガー項目』の段に示す。

タイムラインが無理なく運用できるものになっていることを確認するため、2018年~2021年の4年間を対象にトリガーが発動する可能性のある回数(表-3)を集計した。なお、トリガー情報のうち実況値のみを勘案しており、予測値は含んでいない。また、洪水注意報が同一降雨イベントに対して複数回発表されたもの(警報が引き下げられ注意報が発表された場合など)は、まとめて1回として集計した。

表-2 人吉水位観測所水位1.5mから2.0mの間の累計降雨量比較

	最大水位(m)	水位1.5m~2.0mの間の時間/累計雨量	
		時間(hr)	累計雨量(mm)
令和2年7月豪雨	5.4	1	94.5
令和4年台風14号	3.9	2	36
平成30年7月豪雨	3.5	3	55.5
平成30年の降雨	2.9	1	38.5
令和元年の降雨	2.7	1	73.5
平成24年の降雨	2.1	0	2.5
平成28年の降雨	2.1	2	4
平成25年の降雨	2.1	5	78.5



図-4 平成30年7月6日~7日の降雨のハイトハイドログラフ



図-5 人吉医療センター水害タイムライン抜粋

表-3 設定したトリガーの年間発動回数

年	2021	2020	2019	2018
ステージ2 洪水注意報	6回	12回	8回	16回
ステージ3 水位1.5m超	4回	9回以上	2回	3回
ステージ4 水位2.0m超	1回	4回以上	1回	2回

表より、2~4の各ステージに移行する回数は、平均すると年間でそれぞれ10.5回、4.5回、2回であった。病院スタッフと協議し、想定される通常業務への影響が許容できる範囲であると確認できたため、本トリガーに基づくタイムライン(図-5)を完成版とした。

この計画を令和2年7月豪雨時に適用すると、実際の状況より約6時間早く防水板設置等の対応を開始できる(図-6)。

3.5 STEP4: 運用・振り返り・改善

令和4年5月6日に人吉医療センターで防災訓練を実施、前節までで取りまとめた水害タイムラインを試運用し、計画内容を確認した。訓練ではタイムラインのステージ2からステージ6までの流れを確認、防水板の設置や災害情報取得・伝達の手順などを確認した。訓練後、タイムラインの防災準備業務のタイミングの変更など20カ所を修正、計画をアップデートした。

訓練後にWEBシステムを用いた質問紙調査を実施した。「タイムラインの全体像が理解できたか」、「訓練でタイムラインを活用できたか」というタイムラインの理解度を問う質問について、回答した106名の職員のうち80%以上の職員が「理解できた」「まあ理解できた」と回答した。訓練を通じ、タイムラインの周知がなされたと考えられる。また、タイムラインの利点について自由意見形式で調査したところ、「災害時、いつ、どういう行動をすべきかわかりやすくなった」(10件)、「訓練を行ったことでタイムラインの修正点がわかった」(2件)といった意見が寄せられた。これより、タイムラインを作成することのメリットと、訓練による検証の効果が確認できた。

4. タイムラインの運用と実際の台風での検証

作成したタイムラインを令和4年5月から9月の間実運用した。当該期間中にステージ2(洪水注意報発表)以上となった降雨は7事例あり、中でも9月18日に九州地方に上陸した台風第14号では人吉市で最大1時間降水量30.0mm¹⁰⁾を記録したほか、球磨川人吉観測所では19日3:30ごろに最大水位3.94m¹¹⁾を観測、計画高水位4.07mに迫る大きな出水が見られた。

この台風では、9月18日11:24に人吉市で洪水注意報が発表、その後16:00過ぎに人吉水位観測所で水防団待機水位(1.5m)を超過、23:00ごろに避難判



図-6 タイムライン導入で期待される防災行動の変化の比較

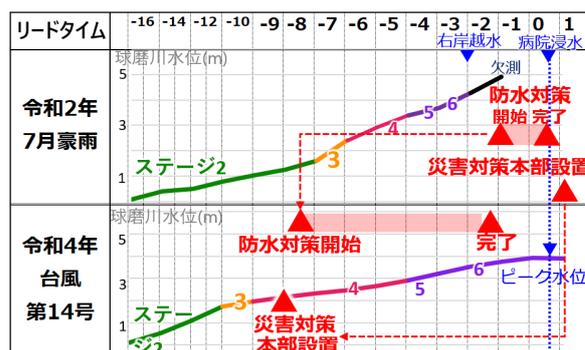


図-7 令和2年7月豪雨時と令和4年台風第14号時の対応状況の比較

断水位(3.0m)、19日0:00ごろに氾濫危険水位(3.2m)を超過した。同センターでは正午頃から一部の管理職が参集、台風の状況を鑑みて昼夜勤の交代時間を前倒しするなど、早めの対応で職員の安全を確保した。18日19時からは災害対策本部を設置、タイムラインに沿って対応にあたった。図-7に令和2年7月豪雨時と令和4年台風第14号時の対応の比較を示す。タイムライン策定後の台風第14号では、従前に比べ災害対策本部設置を約9時間早く開始する、ピーク水位到達時刻の130分前までに必要な防災行動を完了するなど、計画的に防災準備業務が進められ、タイムラインの有効性が確認された。また、台風後のヒアリングでは、「タイムラインで準備業務と必要な時間を一覧表にまとめたことで、業務の見通しが立てやすくなり分担指示が容易になった」、「対策の抜け漏れ防止に繋がった」などの意見が得られた。タイムラインを策定することで、災害時の円滑な業務実施を補助する効果があると確認できた。

5. おわりに

災害拠点病院である人吉医療センターを対象に水害タイムラインを策定、実際の台風での運用を通じその有効性を定量的に検証した。タイムラインの

策定では、はじめにハザードマップ(計画規模、想定最大規模)や令和2年7月豪雨に対する建物被害リスクを具体的にまとめるとともに、各災害シナリオの年超過確率と対応の実現可能性を総合的に考慮し、令和2年7月豪雨を想定水害シナリオとして採用した。次に、防災行動と実施手順を着手すべきタイミング(災害ステージ)に応じて整理するとともに、各ステージに必要なリードタイムを詳細に算出した。最後に、過去の災害での災害情報発出状況などを考慮し、リードタイムと予測精度の両方が確保できる定量的なトリガーを設定した。この結果、令和4年9月の台風第14号時では令和2年7月豪雨時と比べ、防水板の設置作業が約7時間早く開始できたなど、タイムラインの有効性が確認された。

人吉医療センターでのタイムラインについては、今後さらに実災害や訓練などでの運用と振り返りを重ね、より有用性の高いタイムラインとなるようブラッシュアップを継続する。また、タイムライン策定手法をより一般的なものとするため、想定される災害種別や河川規模が異なるケースでの検討も行う予定である。

謝辞

本検討に関して全面的なご協力を頂いたJCHO人吉医療センターの職員の皆様、関係者の皆様に心より御礼を申し上げます

<参考文献>

- 1) 佐々木宏之：“令和4年度厚生労働行政推進調査事業費補助金(地域医療基盤開発推進研究事業)「浸水被害も含めた、新たな医療機関の事業継続計画(BCP)策定に資する研究」分担研究報告書「頻発・激甚化する豪雨水害とBCPのあり方に関する研究」”，https://mhlw-grants.niph.go.jp/system/files/report_pdf/202222007A-buntan7.pdf, 2022/8/9 閲覧
- 2) 国土交通省水災害に関する防災・減災対策本部 防災行動計画ワーキング・グループ：“タイムライン(防災行動計画)策定・活用指針(初版)”，平成28年8月，https://www.mlit.go.jp/river/bousai/timeline/pdf/timeline_shishin.pdf, 2022/8/9 閲覧
- 3) 木村正美：“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(352号), pp.74-79, 2020
- 4) 国土地理院：“ハザードマップポータルサイト”，<https://disaportal.gsi.go.jp/maps/index.html>, 2023/5 閲覧
- 5) 大本照憲：“令和2年7月豪雨を考える”，消防の科学, No.143(冬季), pp.13-24, 2021
- 6) 国土交通省九州地方整備局、熊本県：“第1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, 2023/5 閲覧

- 7) 八代河川国道事務所：“球磨川水系球磨川洪水浸水想定区域図(想定最大規模)上流部”，https://www.qsr.mlit.go.jp/yatusiro/site_files/file/bousai/kuma_shinsui/kuma_shinsui_h29_2_kms01, 2023/5 閲覧
- 8) 球磨川流域タイムライン検討会：“令和2年7月球磨川豪雨を踏まえた球磨川水害タイムラインの改善”，https://www.qsr.mlit.go.jp/yatusiro/site_files/file/activity/bousai_taisaku/t_20210519shiryou1.pdf, 2023/5 閲覧
- 9) 佐山敬洋, 山田真史, 菅原快斗, 近者敦彦, 関本大晟, 山崎大：“広域降雨流出氾濫モデルによる浸水分布の推定地形補正の効果検証”，土木学会論文集 B1(水工学)78(2), pp.I_565-pp.I_570, 2022
- 10) 福岡管区気象台：“災害時気象資料—令和4年台風第14号による9月15日から19日にかけての九州地方(九州北部地方(山口県を含む), 九州南部・奄美地方)の気象状況について—”，https://www.jma-net.go.jp/fukuoka/chosa/saigai/20220922_kyushu.pdf, 2023/5 閲覧
- 11) 九州地方整備局：“令和4年台風第14号に伴う大雨について【速報版】(第2報)”，https://www.qsr.mlit.go.jp/site_files/file/n-kisyahappyou/r4/22092802-1.pdf, 2023/5 閲覧