

熊本市の洪水脆弱性分析のための脆弱性評価指標の開発

熊本大学 学生会員 ○宮崎 翼, 正会員 柿本 竜治, 正会員 安藤 宏恵

1. はじめに

気候変動による豪雨の増加から、多くの都市で洪水が及ぼす影響は大きくなっている。洪水が起きた結果、財産への危害、環境の悪化、インフラ構造物の損傷、人命の損失につながる可能性が高い。このような背景から洪水に対する事前防災の重要性が高まっており、地域の洪水脆弱性を分析する意義は高い。

本研究では、洪水脆弱性を曝露、ハザード、被災後対応力の3つの要因から成るものとする。曝露は、洪水によってシステムが破壊される原因であり、ハザードは、洪水被害を与えるものであり、被災後対応力は、洪水発生後、低下したシステムの回復につながる要因である。これらの要因を踏まえて、洪水脆弱性指標は、図-1示す4のシステムと各システムを構成する要素で構成されるものとする。また、洪水脆弱性指標の算定にあたり、各システムを構成する要素の重みや各システムの重みは、AHP法によって行う。なお、脆弱性評価は、熊本市の中心市街地、および15の地域拠点を対象に行う。

2. 洪水脆弱性指標の開発

2.1 各システムと指標

熊本市の脆弱性を評価する上で、人間システム、経済システム、浸水システム、減災システム及び各システムに3つずつの指標を用いて合計12の指標を立てた。人間システムと経済システムは曝露に属する指標、浸水システムはハザードに属する指標、減災システムは被災後対応力に属する指標で構成されており、本研究で定義した脆弱性要素を考えたシステムとなっている。

各システムについて、人間システムは、人に関わる指標群で、人口密度、高齢者の割合、6歳以下の子供の割合の3つで構成されている。経済システムは、経済活動を行う建物に関わる指標群であり、工業事業所数、商業事業所数、金融機関の数の3つで構成されている。浸水システムは、浸水に関わる指標群であり、浸水深、浸水時間、浸水面積の割合の3つで構成されている。減災システムは、洪水発生後の低下した社会システムの回復につながる指標群であり、指定避難所数、医療機関の数、

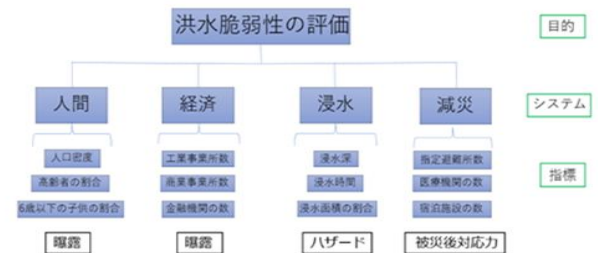


図-1 階層構造

宿泊施設の数で構成されている。

2.2 人間システム

人口密度は、各地域拠点において総人口を総面積で除したものとし、人が密集する地域で洪水により被害が拡大した災害後の避難行動で迅速な避難の妨げになる。高齢者の割合は、各地域拠点において総人口に対する65歳以上の人の割合とし、高齢者は若者よりも素早く動けないことから高齢者の割合の増加は脆弱性を高める。6歳以下の子供の割合は、各地域拠点において総人口に対する6歳以下の子供の割合とし、家族に小さい子供がいる場合などに災害対策を取ることが遅れることが考えられ脆弱性を高める。これらの指標は洪水が起きた時の曝露の対象である人間が、どの程度危険に晒されるのかを示せる指標だと考えたので取り入れた。人間システムに関する指標のデータは、令和4年熊本市オープンデータから得た。

2.3 経済システム

工業事業所数は、工場、製作所、製造所といった製造または加工を行う事業所とした。商業事業所数は、卸売業、小売業といわれるような有体的商品を購入して販売する事業所とした。金融機関の数は、銀行、郵便局、信用金庫、JAバンクといった金融に関する取引を行う機関とした。これらの指標は洪水が起きた時の曝露の対象である建物が、浸水被害による機能の低下が社会のシステムに大きく関係すると考えたので取り入れた。経済システムに関する指標データは、工業事業所数は平成26年工業統計調査、商業事業所数は平成26年商業統計調査、金融機関の数は令和4年熊本市バンクマップから得た。

2. 4 浸水システム

白川流域の2日総雨量860mm, 緑川流域の12時間総雨量595mmなど, 最大規模の降雨により河川が氾濫した場合の洪水浸水を想定した白川・緑川浸水想定区域図(国土交通省・熊本県)のデータを用いた。浸水深, 浸水時間は, 地域拠点におけるデータをそのまま用いた。浸水面積の割合は, 各地域拠点において可住地面積に対する浸水面積の割合とし, QGISで浸水区域のポリゴンを作成することで算出した。洪水発生によって多くの建物が浸水したという話はよく聞き, 洪水脆弱性を考えるうえで浸水の指標は必要だと考えたので取り入れた。

2. 5 減災システム

指定避難所数は, 指定緊急避難所の数とした。医療機関の数は, 病院や診療所の数とした。宿泊施設の数は旅館やホテルの数とし, コロナウイルスの影響から指定避難所ではなく他とは区切られた空間が確保できる宿泊施設への避難が相次いだことから指標に取り入れた。脆弱性を考える上では曝露やハザードだけでなく, 洪水によって低下した社会システムの回復につながる指標も必要だと考えたためこれらの指標を取り入れた。防災システムに関する指標データは, 指定避難所数は令和4年熊本市防災情報ポータル, 医療機関の数は令和2年熊本市医療機関一覧, 宿泊施設の数は令和3年熊本市ホテル・旅館一覧から得た。

3. AHPによる重み付けと各地区の脆弱性指数の結果

AHPの手順は, 最初に階層構造を作る(図-1)。次にアンケート調査を通してシステム間および各システムの指標間での一対比較を行い, どちらの方がどの程度脆弱性を考えた場合に重要であるのか回答してもらう。アンケート調査は, 熊本市役所職員3名, 熊本県庁職員2名, 国土交通省九州地方整備局職員2名, 熊大教員2名の合計9名に対して行った。アンケートの回答結果は回答の信頼性を測る尺度である整合度C.I.を用いてC.I.が0.1以下となった6名のアンケート結果を用いた。6名のアンケート結果から各システム, 指標の重みを求め, 6名の重み計算結果を幾何平均し, 各要素およびシステムの重みを決定した。その結果を表-1に示す。また, 表-1の重み付けに基づき対象地域の洪水脆弱性指数(DFVI)を求めた。その結果を表-2に示す。

表-1 AHPの重み計算結果

	①	②	③	④	⑤	⑥	最終結果
人間システム	0.300	0.390	0.271	0.300	0.251	0.438	0.346
経済システム	0.300	0.067	0.063	0.100	0.083	0.046	0.096
浸水システム	0.300	0.153	0.544	0.300	0.392	0.394	0.352
減災システム	0.100	0.390	0.122	0.300	0.274	0.122	0.206
人口密度	0.279	0.638	0.716	0.092	0.199	0.778	0.152
高齢者の割合	0.650	0.258	0.142	0.454	0.602	0.111	0.130
6歳以下の子供の割合	0.071	0.104	0.142	0.454	0.199	0.111	0.064
工業事業所数	0.281	0.333	0.333	0.333	0.199	0.786	0.037
商業事業所数	0.585	0.334	0.334	0.334	0.602	0.149	0.038
金融機関の数	0.134	0.333	0.333	0.333	0.199	0.065	0.021
浸水深	0.104	0.618	0.638	0.334	0.638	0.054	0.126
浸水面積の割合	0.258	0.297	0.104	0.333	0.104	0.856	0.107
浸水時間	0.638	0.085	0.258	0.333	0.258	0.290	0.119
指定避難所数	0.716	0.618	0.297	0.618	0.618	0.736	0.126
宿泊施設の数	0.142	0.085	0.085	0.085	0.085	0.058	0.019
医療機関の数	0.142	0.297	0.618	0.297	0.297	0.206	0.061

表-2 各地区の洪水脆弱性指数

	人間システム	経済システム	浸水システム	減災システム	正規化DFVI(掛け算)	正規化DFVI(足し算)
熊本	17.391	3.167	0.000	4.459	0.000	0.363
北部	16.804	2.264	0.000	8.683	0.000	0.392
柳・武蔵ヶ丘	25.627	2.116	0.000	5.593	0.000	0.513
八景水谷・清水亀井	22.330	1.933	13.460	6.971	0.307	0.706
子飼	23.915	4.398	17.031	3.547	0.481	0.773
長嶺	22.371	8.292	0.316	3.172	0.014	0.466
水前寺・九品寺	28.715	6.280	18.244	2.077	0.518	0.872
健甕	24.824	4.737	4.623	2.875	0.118	0.565
平成・南熊本	22.693	6.958	19.556	3.035	0.710	0.804
刈草	18.179	5.299	20.629	4.179	0.629	0.748
富合	17.263	1.147	27.318	20.600	0.844	1.000
城南	17.582	1.856	14.892	9.755	0.359	0.678
川尻	18.314	3.813	33.427	5.656	1.000	0.985
城山	17.432	6.855	16.428	2.238	0.333	0.649
上熊本	17.957	2.609	12.878	5.317	0.243	0.606
中心市街地	24.645	6.902	25.302	3.049	0.994	0.939

$$DFVI = \sum_{E=1}^3 (X_E \times W_E) \times \sum_{H=1}^3 (X_H \times W_H) \times \sum_{R=1}^3 (X_R \times W_R) \quad (1)$$

$$DFVI_{Total} = DFVI_{Human} \times DFVI_{Economic} \times DFVI_{Flooding} \times DFVI_{Mitigation} \quad (2)$$

$$DFVI_{Total} = DFVI_{Human} + DFVI_{Economic} + DFVI_{Flooding} + DFVI_{Mitigation} \quad (3)$$

式(1)について, DFVIとは洪水脆弱性指数, E, H, Rは曝露, ハザード, 被災後対応力を表す。またWは重み, Xは正規化された指標を表す。式(2), 式(3)について, 式(2)の方法を用いると洪水リスクがない地区では合計DFVIも0となった, 式(3)の方法を用いると1つのシステム結果だけで合計DFVIが決まることはなく, 最終結果は式(2), 式(3)で大きく変わった。

4. おわりに

本研究では洪水脆弱性指標の決定の後, 9名へのアンケート調査からAHP法による重みづけ, 各地域拠点の洪水脆弱性指数を計算していった。今後の課題として, 各地区の洪水脆弱性指数の結果から15の地域拠点および中心市街地のそれぞれのカルテを書いて脆弱性の対策を考える必要がある。具体的には浸水深に対する垂直避難の可能性や洪水発生後に避難経路を確保できるのかなどについて考えていこうと思う。

参考文献

1) Karma Tempa, District flood vulnerability assessment using AHP with historical flood events in Bhutan, PLOS ONE 17 2022年6月