

平成30年7月豪雨災害による倉敷市真備町での 死者の発生場所における浸水状況の分析と人的 被害推定手法の改善方策の検討

ANALYSIS ON THE HUMAN DAMAGE CAUSED BY 2018 JAPAN FLOODS IN
MABI-CHO, KURASHIKI CITY AND INVESTIGATION ON IMPROVEMENT
MEASURES FOR HUMAN DAMAGE ESTIMATION METHODS

塚田 文也¹・池内 幸司²
Fumiya TSUKADA and Koji IKEUCHI

¹非会員 東京大学大学院 工学系研究科 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)

²正会員 博士(工学) 東京大学大学院教授 工学系研究科 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)

Risk assessment for flood-induced human damage is essential for implementing efficient damage reduction measures. In this study, we analyzed the human damage situation caused by 2018 floods in Mabi-cho district, Okayama, Japan. The relationship between fatality rate and inundation situation, which are represented by inundation depth and water rise speed, was analyzed. The result shows that both inundation depth and water rise speed somewhat correlated with fatality rate and there were the thresholds above which fatality rate significantly increased. Moreover, the applicability of LifeSim Model and Mortality Functions Method, widely used methods for flood-induced human damage estimation, was examined. Both models significantly overestimated fatalities and couldn't accurately estimate the distribution of fatalities especially in the areas with rapid water rise. Meanwhile, the issues and improvement measures of these methods were proposed in reference to the result obtained in the present analysis.

Key Words : 2018 Japan Floods, Mabi-cho, fatality, water rise speed, LifeSim Model
Mortality Functions Method

1. 序論

水害による人的被害のリスク評価は、人的被害を軽減するための効果的な水害対策を講じる上で不可欠である。わが国では水害による人的被害のリスク評価についての検討が十分に行われてこなかったが、近年になって、池内らにより、米国等で用いられているLifeSimモデルを用いて首都圏における水害発生時の死者数の想定が行われ¹⁾²⁾、「水害の被害指標分析の手引」³⁾に水害時の人的被害推定の手引が示されるなど、徐々に人的被害のリスク評価が行われるようになってきた。しかし、これらで用いられる手法を日本の河川氾濫に適用した場合の精度や適用範囲は検証されていない。また、この手法を含めて既存の人的被害推定モデルは、主に海外の高潮災害等での被害状況をもとに構築されたものであるため⁴⁾、近年の日本における河川氾濫による人的被害の発生状況を

必ずしも正確に推定できていない可能性がある。そのため、近年の日本の河川氾濫による人的被害の発生状況について分析し、これらの手法の適用可能性と課題について検証することが必要だが、そのような検討はこれまでに行われていない。

本研究では、平成30年7月豪雨災害による倉敷市真備町における被害状況を対象とし、死者の発生状況と浸水状況との関係を明らかにするとともに、既存の人的被害推定手法の同災害に対する適用可能性と課題を検証し、手法の改善方策を検討する。3・4章では、死者の発生状況と浸水状況の関係の分析について、分析手法と得られた結果について述べる。5・6章では、適用性検証に用いる既存の人的被害推定モデルについて説明し、それらの適用結果を述べる。7章では、人的被害推定モデルの適用性と課題について考察し、3・4章における分析結果と合わせてモデルの改善方策を提案する。

2. 氾濫解析手法

平成30年7月豪雨災害時の倉敷市真備町における浸水状況を再現するための氾濫解析を行った。計算対象河道は、高梁川・小田川と小田川支川の末政川・高馬川の真備町周辺の区域である。河道内地形は、高梁川・小田川については平成28年度測量成果及び基盤地図情報（国土地理院）の5mメッシュ標高値、末政川・高馬川については中国地方整備局管内航空測量業務成果の2mメッシュ標高値を用いた。堤内地の計算には25mメッシュを用いたが、連続盛土上の標高地は5mメッシュ標高地を用いて補正を行った。河道内水位の計算は一次元不定流計算、氾濫流の計算は平面二次元不定流計算によって行った。この際、越流による河道流量の低下や堤内地から河道内への氾濫水の流入も考慮した。河道内水位の計算に用いた高梁川と小田川の上下流端の水位は、観測所における観測データを用いた。

上流端流量は、同豪雨災害時の流量観測データから構築したH-Q式を用いてH-Q換算により算出した。小規模支川からの横流入量は、観測所における流量をその観測所上流の流域面積と支川の小流域面積との面積比で按分して設定した。河道内の粗度係数は、河道内の痕跡水位を用いてキャリブレーションを行うことで設定した。

同災害時には小田川、末政川、高馬川、真谷川の合計8か所で破堤しており、これら全てからの越流を考慮して氾濫流の計算を行った。破堤地点からの越流量は本間の越流公式により算定した。各破堤地点の破堤時刻と最終破堤幅は現地調査資料⁶⁾に基づき決定した。破堤の時間進行については、土木研究所「氾濫シミュレーション・マニュアル（案）」⁷⁾に従い、破堤後瞬時に最大破堤幅の1/2が破堤し、その後1時間もしくは2時間かけて最大破堤幅まで拡大するものとした。堤内地の粗度係数は、25mの小さい計算メッシュを用いていることから、洪水浸水想定区域図作成マニュアル（第4版）⁸⁾で示された粗度係数の最小値を設定した。この設定により、後述のように浸水状況の時間変化をおおむね再現できていた。

計算対象領域内で、現地調査により計測された各地点での痕跡浸水深⁹⁾と、同地点が含まれるメッシュにおける計算で求められた最大浸水深を比較すると、平均絶対誤差は0.59mであった。浸水域の縁部や幹線道路の近傍では、メッシュ内の急激な地盤高の変化の影響で誤差が大きくなる地点もあったが、浸水域全域で計算結果は痕跡浸水深とおおむね一致していた。また、報道記事やSNS投稿の情報から得た堤内地の9地点での浸水開始時刻と、2つの樋門での内水位の時間変化から推定された破堤の影響による浸水開始時刻⁹⁾を用い、これらと計算により求めた浸水開始時刻を比較した。合計11地点のうち9地点で両者の差は20分以内であり、堤内地の浸水状況の時間変化をおおむね再現できていた。

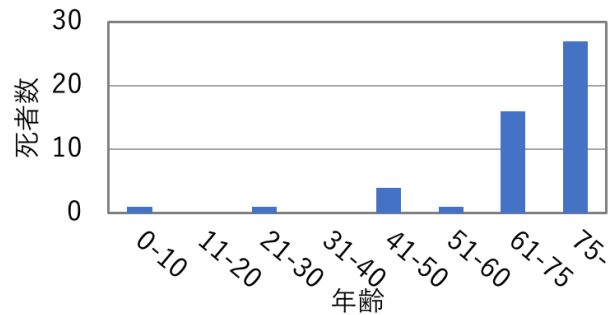


図-1 死者の年齢構成

表-1 発生場所別の死者数

死者の発生場所			人数
屋内	1階	平屋	19
		2階建て	22
	2階		1
家屋流出			2
屋外			7

3. 死者と浸水状況の関係の分析：手法

(1) 情報の収集

報道記事等の公開情報を用い、真備町における死者の年齢等の属性、発生場所の情報を収集した。これらの情報と氾濫解析により再現した当時の浸水状況を用い、死者の発生状況と浸水状況の関係を分析する。

(2) 真備町における死者の特徴

図-1は、死者の年齢構成を示す¹⁰⁾。61歳以上の割合が高く、とりわけ75歳以上が30人と全体の58.8%を占める。国勢調査より、2015年時点での真備町における75歳以上の人口の割合は13.3%であることから、高齢者の死者の割合が非常に高かったと言える。このことは、ハリケーン・カトリーナ等の過去の大規模水害における人的被害の特徴と一致している¹¹⁾。死者のうち要支援者・要介護者の割合は36.5%と高かったが、重度とされる要介護度3以上の死者は6人(11.5%)であり¹²⁾、自力で移動することが困難であった人の割合はそれほど高くない。近年の日本の水害における死者についても、歩行困難であった人の割合は低く¹³⁾、高齢者や要支援者・要介護者の死者の割合は多いが自力での移動自体が困難であった人が多いわけではないことに注意が必要である。

表-1は、発生場所別の死者数を示す¹⁴⁾。この情報から、以下の特徴が読み取れる。

- ・真備町内の8か所で破堤したにもかかわらず、家屋流出による死者が少ない。8か所中6か所が小規模支川での破堤であり堤防高がそれほど高くないために家屋に作用する慣性力が大きくなかったこと、建築技術の向上により家屋が流出しにくくなったことが要因で、流出家屋が少なかったためだと考えられる。

- ・平屋での死者が多い。
- ・2階建ての家屋でも1階で亡くなった人がほとんどであり、この形態の死者が全体の43.1%にも及ぶ。2階建ての家屋で垂直避難が出来ずに死亡した死者が多かったと考えられる。

ここでは、全体の80.4%を占める家屋の1階での死者について、浸水状況との関係を分析する。

(3) 浸水状況の評価法

浸水状況を表すパラメータとして、浸水深と水位上昇速度を用いる。浸水による死者はほとんどが溺死であるため、浸水深が死者の発生に大きく関連すると考えられる。また、真備町における死者の4割以上が2階建ての家屋の1階で死亡しており、水位上昇が急激であるほど垂直避難が困難となると考えられることから、水位上昇速度が死者の発生に大きく関係していると考えられる。水位上昇速度は、家屋の床付近から水位が50cm上昇するのに要する時間として評価した。これは、床上50cm程度まで浸水すると歩行が困難となると考えられるためである。過去の水害での調査結果や実験データから、氾濫流中では浸水深50cm程度で避難が困難となることが報告されている¹⁵⁾。家屋内で移動する場合、流速はほぼゼロと見なせるが、浮上した量や家具等が障害物となって移動を妨げると考えられる。本災害と同様に1階での死者が多かった台風19号災害時には、浮いた家具により上階への避難が妨げられた可能性が指摘されている¹⁶⁾。このことから、本研究では床上から50cm程度の浸水で歩行が困難となるとみなした。日本の家屋の床高は平均して60cm程度であることから¹⁷⁾、この高さ付近の浸水深0~1mを起点とし、そこから最も急激に水位が50cm上昇するまでに要する時間を水位上昇速度として評価する。

4. 死者と浸水状況の関係の分析：結果

各メッシュにおける人口と死者数を浸水深と水位上昇速度の値ごとに集計し、死者率を求めた。この際、避難率の値として、岡山県が行ったアンケート調査¹⁷⁾で家の外に避難したと答えた人の割合の71.5%を設定した。図-2は、浸水深と水位上昇速度それぞれと死者率との関係を示す。図-3は、両者と死者率の関係を示す。

水位上昇速度は、速い（水位が50cm上昇するのに要する時間が短い）ほど死者率が大きい傾向にある。これは、水位上昇が急激であることで、家屋内で移動して垂直避難をすることさえ出来ずに溺死した死者が多かったためであると考えられる。とりわけ水位が50cm上昇するまでに要する時間が20分(1.5m/時)と60分(0.5m/時)を境としてそれらより水位上昇が速いと死者率が急激に大きくなっており、垂直避難が困難となる水位上昇速度の閾値がこの程度であることが示唆される。

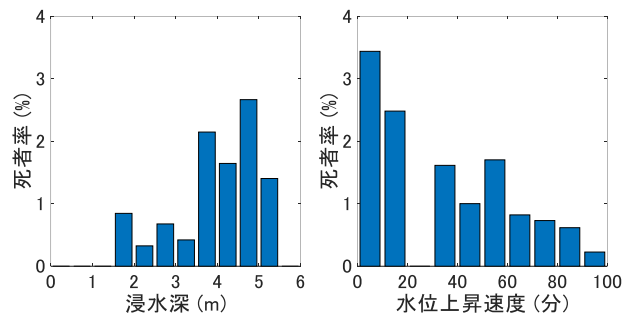


図-2 浸水深（左）・水位上昇速度（右）毎の死者率

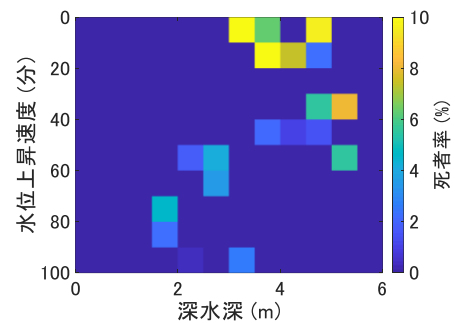


図-3 浸水深・水位上昇速度と死者率の関係

浸水深に関しては、1.5m以上の領域でのみ死者が生じている。浸水深が3.5m-5.0mの領域で死者率が非常に大きい。この領域での死者の多くが、水位が50cm上昇するのに要する時間が20分以下の最も水位上昇が急激である領域で生じている。ここで、分析に用いたのは全て家屋の1階で死亡したケースである。浸水深が3.5mを超える範囲では、一般に水面は1階の天井高さより高いため、浸水深の違いは1階にいる人が溺死する危険性に影響を与えない。したがって、これらの領域での死者率の増大は、浸水深が大きかったことではなく水位上昇速度が急激だったことによると考えられる。すなわち、浸水深が1.5mを超える領域でのみ死者が生じているが、それ以上に浸水深が大きくなっても死者率との明確な関連はなかった。浸水深が1.5m~2m程度となると水面が家屋1階にいる人の顔付近まで達するため、それより深く浸水した領域で溺死による死者が発生したと考えられる。この分析結果と、家屋内で死亡した人のほとんどが1階で死亡していること、屋外で溺死する場合でも同様に浸水深1.5m程度で水面が顔付近まで達することを考え合わせると、浸水位の上昇によって溺死が起こる場合において死者率が増大する浸水深の閾値が1.5m程度であることが示唆された。

5. 人的被害推定モデルとその適用手法

(1) 用いるモデルの概要

水害による人的被害の推定手法は、これまでに海外で複数の手法が構築されている⁴⁾。本研究では、日本の水

害における人的リスク評価にも用いられているLifeSimモデルと、オランダの水害におけるリスク評価に用いられているMortality Functions Methodの2つについて、真備町での被害状況に適用し、これらの適用性と課題を検証する。以下にこれらの手法の概要を示す。

a) LifeSimモデル

米国におけるダム事故時の人的リスク評価のために構築されたモデルを、ハリケーン・カトリナでのニューオリンズ周辺における人的被害の評価に用いるために簡略化したモデルである^{18), 19)}。このモデルは、同災害での死者数を良好に再現することが確認されている¹⁹⁾。人の身長と水面の高さの関係を基に、深水深によって危険水位帯、準危険水位帯、安全水位帯の3つに分け、それぞれに死者率を設定する。米国で構築されたモデルであるため、日本の水害に適用することの妥当性を検証する必要がある。ここでは、池内ら¹⁾に従い、米国と日本で床高と平均身長が大きく変わらないことから、モデルがそのまま適用可能であるとした。

b) Mortality Functions Method

Jonkman²⁰⁾によって構築され、Maaskantら²¹⁾によって改善されたモデルで、オランダにおける水害による人的リスク評価に用いられている。イギリス、オランダ、日本、米国の過去の大規模高潮水害における死者率のデータから統計的に構築された。流速と水位上昇速度、浸水深によって浸水域を4つのエリアに分け、それぞれに水位上昇速度と浸水深をパラメータとした被害関数により死者率を設定する。

(2) 避難率の設定

いずれのモデルも、死者率は残留人口（浸水時に避難していなかった人口）の内の死者数の割合として求められるため、モデルによる推定結果を実際の状況と比較して評価するためには、避難率を適切に設定する必要がある。ここでは、真備町の住民へのアンケート結果をもとに、56.9%と71.5%の2つの値を設定した。前者は倉敷市が行ったアンケート²²⁾、後者は岡山県が行ったアンケート¹⁷⁾における、真備町で災害時に自宅の外に避難したと答えた人の割合からそれぞれ設定した。また、後者のアンケート結果で、避難したと答えた人の割合は真備町内の各地区間で大きく変わらないことから、浸水域に一律の避難率を設定した。

(3) エリア分け

いずれの手法も、浸水域を深水深等の浸水状況が同等の小エリアに分割し、そのエリアごとに死者率の推定を行う。浸水域の浸水深と水位上昇速度の分布は図-4のように表される。ここで、水位上昇速度はMortality Functions Methodにおける評価法と同様に深水深が1.5mに至るまでの平均的な水位上昇率として評価した²⁰⁾。それぞれのエリア内で浸水深と水位上昇速度がおおむね一

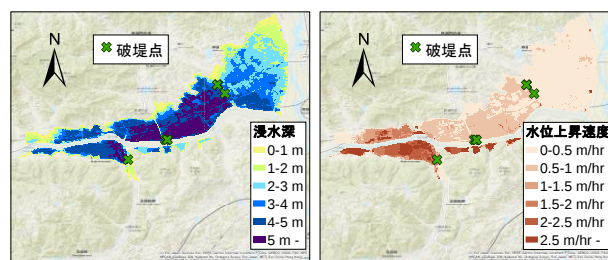


図-4 浸水深（左）と水位上昇速度（右）の分布

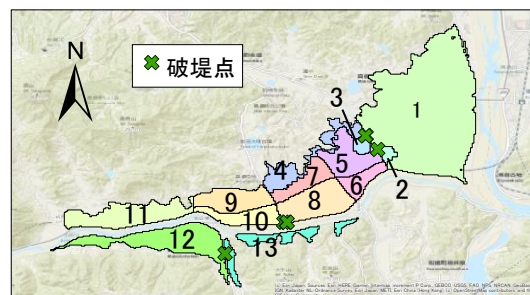


図-5 浸水域のエリア分け

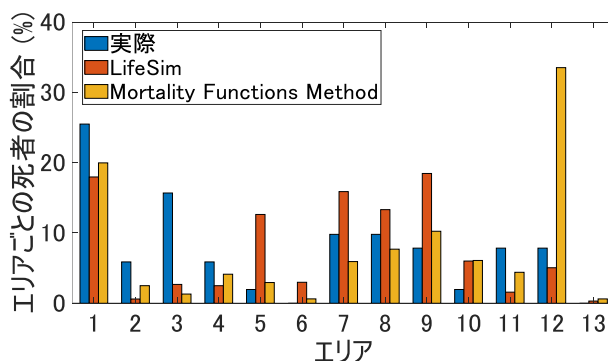


図-6 エリアごとの死者の構成割合

表-2 モデルにより推定された合計の死者数

モデル	避難率	人数
LifeSimモデル	56.9%	357
	71.5%	240
Mortality Functions Method	56.9%	147
	71.5%	99
実際の死者数		51

様となるように、図-5のように13のエリアに分割した。浸水開始時刻や避難行動の違いの境界となる河川堤防や幹線道路も境界として用いた。

6. 人的被害推定モデルの適用結果

表-2に、避難率56.9%と71.5%それぞれの場合の両モデルにより推定された合計の死者数を示す。図-6は、実際の死者数の分布とそれぞれのモデルにより推定された死者数の分布について、各エリアにおける死者数の全体に対する構成割合を表す。

LifeSimモデルにより推定された合計の死者数は、避

難率56.9%の場合に357人、避難率71.5%の場合でも240人であり、実際の死者数の51人を大きく超過している。エリアごとの死者数の分布も、実際の分布と大きく異なる。モデルによる推定結果では、浸水深が大きいエリア5~10における死者数が実際よりも大きな割合を占める。一方、破堤点近傍のエリア2・3では、死者数の構成割合が実際よりも非常に小さく推定されている。

Mortality Functions Methodにより推定された合計の死者数は、避難率56.9%の場合に147人、避難率71.5%の場合に99人であり、LifeSimモデルよりも実際の死者数に近い。しかし、死者数の分布は実際と異なる点が多い。LifeSimモデルによる推定結果と同様に、破堤点近傍のエリア2・3での死者数の割合が小さくなっている。また、水位上昇速度と浸水深の両者が大きいエリア12での死者数の割合が実際よりも非常に大きくなっている。

7. 考察

LifeSimモデルにより推定された死者数の分布が実際と大きく異なるのは、LifeSimモデルが浸水深のみを考慮して死者率を求めているためである。モデルの構築のベースとなったハリケーン・カトリナ災害時のニューオリンズ周辺での死者率は、水位上昇速度等と相関せず浸水深と強く相関していた¹⁾。このため、浸水深のみを考慮したモデルによって人的被害を正確に推定することが可能だった。一方、真備町での死者率は、4章で示したように水位上昇速度との関連が大きく、浸水深は1.5m付近に閾値が存在するがそれ以外には死者率との明確な関連は見られなかった。これは、急激な水位上昇によって垂直避難が出来ずに家屋の1階で死亡したケースが多かったためと考えられるが、LifeSimモデルでは屋内に残留している人は全て垂直避難をしていると仮定して浸水深のみを考慮しているため、このような死者の発生形態を再現できていない。この結果から、中小河川での破堤により水位上昇速度が大きい場合が多い日本の河川水害にLifeSimモデルを適用した場合、人的リスクの分布を正確に評価できない可能性があると考えられる。

Mortality Functions Methodにより推定された死者数の分布では、破堤点近傍のエリア2・3での死者数の割合が実際よりも小さくなっている。破堤点近傍のエリアで死者が多かったのは、急激な水位上昇によって垂直避難が出来ずに死亡するケースが多かったためであると考えられ、このような死者の発生形態をモデルが再現できていないために、これらのエリアにおける死者数が小さく推定されたと考えられる。このモデルでは、水位上昇速度を浸水が始まってから浸水深1.5mに至るまでの平均的な水位上昇率として評価している。これは、屋外にいる人の頭付近の1.5mまで水面が達すると危険となることを想定した設定である²⁰⁾。図-7は、エリア2内の破堤点から約

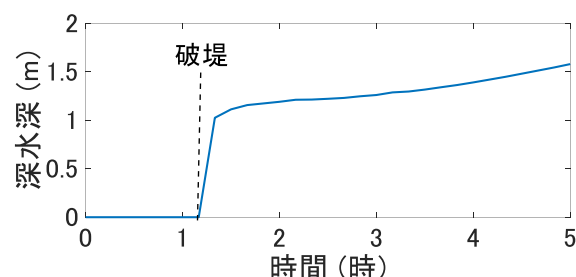


図-7 破堤点近傍の地点での水位の時間変化

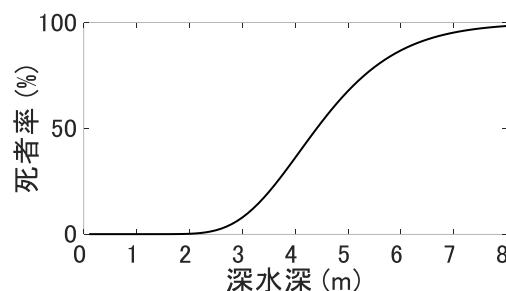


図-8 Mortality Functions Methodの被害関数

20m離れた地点における水位の時間変化を表す。このように、破堤点近傍で氾濫水が貯留されない領域では破堤による急激な水位上昇によって水位が1.5mまで至らず、この評価法では水位上昇速度の値が小さくなる。家屋内での垂直避難は、床上50cm程度まで浸水すると困難となると考えられ、浸水深1.5mまでの平均的な水位上昇率では必ずしも垂直避難の困難性を評価できていない。この課題の解決のためには、水位上昇速度の評価法を垂直避難の困難性を表すように改善することが考えられる。本研究の3・4章の分析では、垂直避難の困難性を表すように、浸水深0~1mから最も急激に水位が50cm上昇するまでに要する時間として水位上昇速度を評価した。その結果、水位上昇速度と死者率の間に明確な関連が見られた。このように評価した水位上昇速度の値を用いることで、日本の河川水害による人的被害の特徴をより正確に推定するようにモデルを改善することが出来ると考えられる。

水位上昇速度と浸水深の両者が大きいエリア12では、死者数の割合が実際よりも非常に大きくなっている。このモデルでの水位上昇が急激な領域における被害関数は図-8のように表される。浸水深3~6mでの急激な死者率の増大は、家屋の2階にいる人の溺死の危険性が増大することと対応するが²⁰⁾、真備町では家屋の2階で死亡したのは1ケースのみであった。すなわち、家屋2階で死亡するケースを大きく過大評価したために、エリア12での死者数が実際と大きく乖離したと考えられる。本研究の3・4章の分析から、全体のほとんどを占める家屋1階で死亡したケースでは浸水深1.5m程度が閾値となっていた。これらのことから、浸水深1.5m付近で急激に死者率が増大し、それ以上では死者率が一定となるような被害関数がより適切であることが示唆される。

8. 結論

平成30年西日本豪雨災害時の倉敷市真備町における人的被害について詳細な分析を行った。浸水状況と死者率の関係の分析から、水位上昇速度が高い領域で死者率が高い傾向が見られた。同災害では2階建ての家屋であっても1階で死亡したケースが非常に多く、急激な水位上昇によって垂直避難が出来ずに死亡するケースが多かったと考えられる。浸水深は、1.5mを超える領域でのみ死者が生じていたが、それ以上では死者率との明確な関連はなかった。

既存の人的被害推定モデルのうち、LifeSimモデルとMortality Functions Methodを同災害に適用し、適用可能性と課題を検証した。LifeSimモデルは死者率の分布を正確に再現できなかったが、これは浸水状況を表すパラメータとして浸水深のみが考慮されているためである。Mortality Functions Methodも死者率の分布を正確に再現できなかったが、この主要因として水位上昇速度の評価法と被害関数の形状の2つが考えられる。これらの課題に対し、本研究における分析で得られた知見を用いて改善方策が提案された。

近年の日本の水害では、死者率が非常に小さいためにランダム性の影響が非常に大きくなり、データ数も少ないため、統計的な分析が難しい。そのため、本研究のように死者の発生状況と浸水状況の関係の分析により得られた知見を基に手法の改善方策を検討することが有効と考えられる。

謝辞：本研究は、東京大学社会連携講座「水循環データ統融合の展開学」、JSPS科研費（18H03823）により実施された。本研究を行うにあたって、国土交通省と（株）東京建設コンサルタントから助言をいただいた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 池内幸司, 越智繁雄, 安田吾郎, 岡村次郎, 青野正志：大規模水害時の氾濫形態の分析と死者数の想定, 土木学会論文誌B1, Vol.67, No.3, pp.133-144, 2011.
- 2) 池内幸司, 越智繁雄, 藤山秀章, 安田吾郎, 岡村次郎, 青野正志：大規模水害時の人的被害の想定と被害軽減方策の効果分析, 土木学会論文誌B1, Vol.69, No.4, pp.1651-1656, 2013.
- 3) 国土交通省水管理・国土保全局：水害の被害指標分析の手引（H25試行版）, 2013.
- 4) Jonkman, S. N., Maaskant, B., Kolen, B. and Needham, J. T. : Loss of life estimation – Review, developments and challenges, 3rd European Conference on Flood Risk Management, 2016.

- 5) 国土交通省中国地方整備局高梁川水系小田川堤防調査委員会：高梁川水系小田川堤防調査委員会報告書, 2020.
- 6) 土木学会：<http://committees.jsce.or.jp/chugoku/system/files/okayama.pdf>, 2018.
- 7) 建設省土木研究所河川部都市河川研究室：氾濫シミュレーション・マニュアル（案）, 土木研究所資料第3400号, 1996.
- 8) 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課水防企画室, 国土技術政策総合研究所河川研究部水害研究室：洪水浸水想定区域図作成マニュアル（第4版）, 2015.
- 9) 国土交通省中国地方整備局高梁川水系小田川堤防調査委員会：第3回高梁川水系小田川堤防調査委員会資料, 2018.
- 10) 朝日新聞：西日本豪雨で亡くなられた方々, 2018年7月31日, <https://www.asahi.com/articles/ASL795DVHL79PTIL02X.html>, 最終閲覧日：2020年3月27日.
- 11) Jonkman, S. N., Maaskant, B., Boyd, E. and Levitan, M. L. : Loss of Life Caused by the Flooding of New Orleans After Hurricane Katrina: Analysis of the Relationship Between Flood Characteristics and Mortality, *Risk Analysis*, Vol.29, No.5, pp.676-698, 2009.
- 12) 岡山県「平成30年7月豪雨」災害検証委員会：平成30年7月豪雨災害検証報告書, 2019.
- 13) 牛山素行, 横幕早季：2017年の豪雨災害による人的被害の特徴, 東北地域災害研究, Vol.54, pp.131-136, 2018.
- 14) 山陽新聞：垂直避難できれば…37%生存も 倉敷市豪雨犠牲者の状況公表, 2019年11月29日, <https://www.sanyonews.jp/article/963127>, 最終閲覧日：2020年3月27日.
- 15) 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課水防企画室：水害ハザードマップ作成の手引き, 2016.
- 16) 読売新聞：「浮いた家具」避難阻んだか…1階浸水死者の半数, 2階建て住まい, 2019年11月19日, <https://www.yomiuri.co.jp/national/20191118-OYT1T50281/>, 最終閲覧日：2020年3月27日.
- 17) 岡山県：平成30年7月豪雨災害での対応行動に関するアンケート調査報告書, 2019.
- 18) McClelland, D. M. and Bowels, D. S. : Estimating life loss for dam safety risk assessment – A review and new approach, 2002.
- 19) Scodari, P., Stedje, G., Landry, M. and Aboelata, M. : Estimating Loss of Life from Hurricane-Related Flooding in the Greater New Orleans Area, 2006.
- 20) Jonkman, S. N. : Loss of life estimation in flood risk assessment Theory and applications, Ph.D. thesis, Delft University of Technology, 2007.
- 21) Maaskant, B., Jonkman, S. N. and Kok, M. : Analyse slachtoffer aantallen VNK-2 en voorstellen voor aanpassingen van slachtofferfuncties, 2009.
- 22) 倉敷市：平成30年7月豪雨災害対応検証報告書, 2019.
(2020. 4. 2受付)