

# 都市水害の被害想定に関する研究

## STUDY ON DAMAGE ESTIMATION OF URBAN FLOOD

桑野靖子<sup>1</sup>・米山望<sup>2</sup>

Yasuko KUWANO, Nozomu YONEYAMA

<sup>1</sup>学生員 京都大学大学院 工学研究科 (〒615-8510 京都市西京区京都大学桂)<sup>2</sup>正会員 博(工) 京都大学准教授 防災研究所 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

This study focused on developing an urban flood damage estimation method. We researched existing estimation methods and aimed to develop them to make them more effective. We simulated floods of various scales in the Nakashima River basin and Neyagawa River basin and estimated the flood damage by using the existing and newly developed methods. With respect to human suffering, we estimated the number of victims that could perish in their homes by using the “Life-Sim model” published by the U.S. Army. Further, we estimated the number of people accidentally endangered during an evacuation by means of a new method based on a specific force. The results of the estimation showed that in the case of both basins, few people died in their homes, but many people who were evacuated were endangered by accident during evacuation. Thus, when considering human suffering, it is necessary to account for both people who die at home as well as people who die on their way to an evacuation site.

**Key Words :** flood damage, estimation method, numerical simulation, human suffering, property damage, evacuation

### 1. はじめに

近年、日本の水害による死者数は減少傾向にあるものの、単位浸水面積あたりの被害額は年々増加している。また、避難中の事故も多数発生している。2009年8月に起きた兵庫県佐用町の水害では、死者・行方不明者20名のうちの12名が、避難中に氾濫流に流され死亡したことは記憶に新しい<sup>1)</sup>。

かつて水害といえば、外水氾濫が多かったが、近年では、内水氾濫が増加するなど、被害想定的前提となる氾濫事象自体が変化してきている。現在、全国各地で水害軽減のための被害想定が行われ、より適切な被害軽減策が検討・実施されているが、このように、被害想定手法策定時には考えられていなかったようなタイプの災害が頻発していることから、被害想定手法自体も、氾濫事象の変化に対応した見直しが必要と考えられる。

そこで本研究は、水害の際の既存の被害想定手法について検討し、より現実に即した被害想定手法のあり方について考察することを目的としている。そこで、流出および氾濫シミュレーションを行い、得られた結果をもとに被害想定を行う。

人的被害については、避難せずに自宅で死亡する場合(在宅状況) および避難中の事故で死亡する場合の二通

りを考える。国内には、幅広く用いられているような死者数算定プログラムが見当たらなかったため、在宅状況での死者については、米国で開発された死者数算定プログラム『Life-Simモデル』<sup>2)</sup>を用いる。さらに避難行動中の危険性については、浅井らの研究<sup>3)</sup>を参考に、水深と流速から求められる比力を用いて評価を行う。

物的被害についてはわが国の治水経済調査マニュアル<sup>4)</sup>を使用し、その際、水害廃棄物処理費用<sup>5)</sup>等、現在のマニュアルに記載されていない項目についても試算を行う。

### 2. 研究手法

#### (1) 人的被害想定手法

在宅の死者数の算定には、死者数算定プログラム『Life-Simモデル』を使用する。図-1に示すように、このモデルでは、水害の際に、65歳以上のものは、建物の最上階の居住階へ、64歳以下のものは、さらに屋根の上等に避難できると仮定し、浸水深により死亡率(危険度)が異なる。

避難行動中の危険性の評価には、水深と流速をもとに算出される単位幅比力を用いる。浅井らの研究<sup>3)</sup>によれば、成人男性の場合、比力 $M$ が $0.125\text{m}^3/\text{m}$ より大きくなると、安全な避難が困難となる(避難困難指標)。さらに、比力が $0.25\text{m}^3/\text{m}$ を超えると避難は危険となる(避難限界

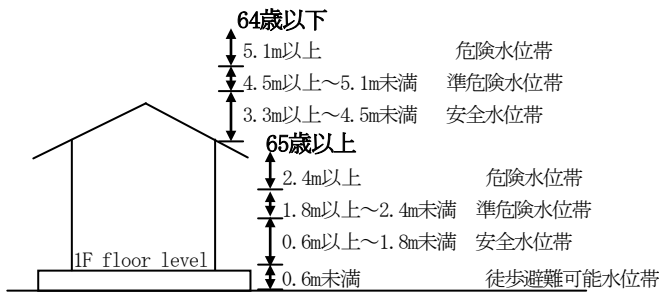


図-1 Life-Simモデルにおける年齢別の水深ごとの危険度 (一階建ての場合)

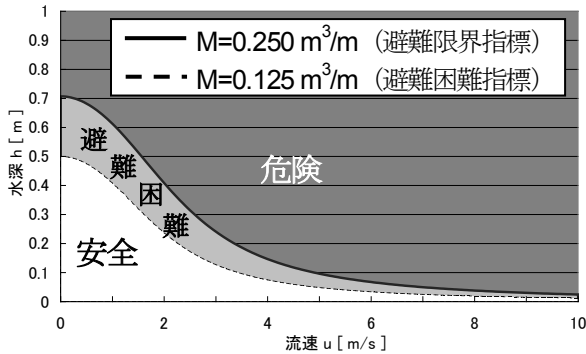


図-2 避難困難および避難限界となる水深と流速の関係 (成人男性の場合)

指標) . 比力は $g$ :重力加速度,  $h$ :水深,  $M$ : 単位幅比力,  $u$ :流速を用いて, 次式で表される.

$$M = \frac{u^2 h}{g} + \frac{h^2}{2}$$

この避難困難度指標は, 避難者の性別・年齢により異なる. 本研究では成人男性の指標を使用する. (図-2)

### (2) 物的被害想定手法

物的被害は, 家屋被害額, 家庭用品被害額, 事業所償却資産および在庫資産被害額, 営業停止損失の項目について, 国土交通省河川局河川計画課作成の治水経済調査マニュアルを参考に, 浸水深に基づき算出する. 被害額算定式は以下の通りである.

- 家屋被害額 (円) = 都道府県別家屋1㎡当たり評価額 (円/㎡) × 浸水面積 (㎡) × 浸水深別被害率
- 家庭用品被害額 = 1世帯当たり家庭用品評価額 (円) × 浸水世帯数 (戸) × 浸水深別被害率
- 事業所償却資産被害額 = 浸水影響従業者数 (人) × 一人当たり償却資産評価額 (千円/人) × 浸水深別被害率
- 事業所在庫資産被害額 = 浸水影響従業者数 (人) × 一人当たり在庫資産評価額 (千円/人) × 浸水深別被害率
- 営業停止損失 = 浸水影響従業者数 (人) × (営業停止日数 + 営業停滞日数 / 2) × 一人当たり付加価値額 (円/人・日)

尚, 家屋被害額については, 水深だけでなく流速にも大きく影響される可能性が, 羽鳥らの研究<sup>6)</sup>等で指摘されている. 羽鳥らの研究によれば, 全被害家屋中の全・

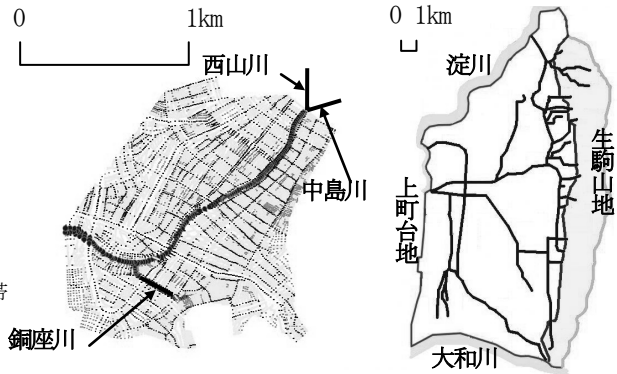


図-3 中島川流域図

図-4 寝屋川流域図

半壊割合を表す破壊率  $D$  (%) は,  $\alpha v \sqrt{h}$  で表わされる. ここに,  $h$ :水深,  $v$ :流速,  $\alpha$ :定数 (= 9.0) である.

さらに, 環境省作成の指針を基に, 次式で表わされる 水害廃棄物処理費用額も算定した.

- 水害廃棄物処理費用 = (3.79 × 床上浸水家屋数 + 0.08 × 床上浸水家屋数) × 1t 当たり処理費用 (円/t)

### 3. 対象領域の概要および降雨条件

#### (1) 対象領域

特徴の異なる二つの領域として, 大きな流速を伴う氾濫を起こす可能性のある長崎市中島川流域および, 流域内の3/4が内水域である寝屋川流域を選定した.

#### a) 長崎市中島川流域

長崎市中島川は長崎市中心部に位置し, 流域面積17.5 km<sup>2</sup>, 流路延長6.2 kmである. 氾濫解析は, 面積約1.5 km<sup>2</sup>, 人口約2万4千人の領域を対象とした (図-3). 中島川流域は勾配が急であり, 氾濫流は大きな流速を伴う恐れがある. 流出解析には kinematic waveモデルを用い, 中島川の河道を含めた市街地の氾濫解析は, 非構造格子を用いた平面二次元解析とした.

#### b) 寝屋川流域

寝屋川流域は, 大阪府北部から中部に位置し, 対象とした河川網の総延長は約89 km, 流出解析の対象とした山地部の面積は約49 km<sup>2</sup>である. 氾濫解析では, 面積約197km<sup>2</sup>, 人口約200万人の領域を対象とした (図-4). 寝屋川流域は, 大部分が低平地であり, 流域の約3/4が, 雨水が自然に河川に排出されない『内水域』である. 流出解析, 市街地の氾濫解析は, 中島川流域と同じとした. ただし, 氾濫解析では下水道を考慮するとともに, 河道部分は地上の氾濫と独立して解析した.

#### (2) 降雨条件

対象領域において, 再現期間を10~200年まで10年間隔で変化させた雨を与える. 降雨継続時間は1時間とし, 降雨継続中は降雨強度を一定とした. 再現期間ごとの降雨強度は, 土木研究所の『アメダス確率降雨計算プログラム』<sup>7)</sup>を用いて求めた.

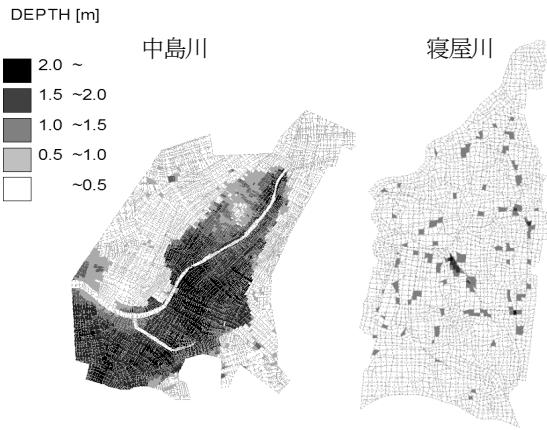


図-5 再現期間200年の場合の最大浸水深図

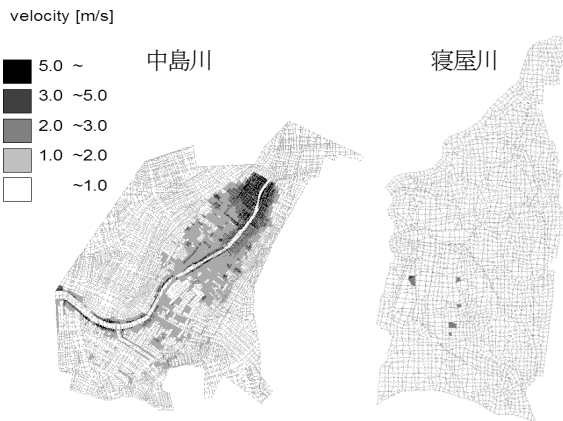


図-6 再現期間200年の場合の最大流速分布図

## 4. 結果

### (1) 浸水解析結果

まず、解析結果の一例として図-5, 6に再現期間200年の場合の最大浸水深図, 最大流速分布図を示す。縮尺が異なるため厳密な比較は出来ないが、二つの流域で浸水エリアの分布が大きく異なることや、氾濫流速は中島川流域の方が大きいことが見て取れる。

次に、両対象流域の再現期間ごとの水深の推移を図-7, 8に示す。中島川流域では、再現期間が30年より長くなると、レンジ4, 5, 6 (水深が1.0 m 以上) の領域の割合が増加していく。また、再現期間が150年より長くなると、水深が2.0 m 以上となる領域 (レンジ6) が現れる。一方寝屋川流域では、全再現期間を通して、水深が50 cm 以下 (レンジ1, 2) の領域が90 %以上を占める。

次に、両対象流域の、再現期間ごとの流速の推移を図-9, 10に示す。中島川流域では、再現期間が40年より長くなると、レンジ3 (流速1.0~2.0m/s) の領域が、10~20%を占めるようになる。また、全再現期間を通して、流速が3.0m/s 以上の領域が存在する。一方寝屋川流域では、全再現期間を通して、1.0m/s以上となる領域はほとんどない。

最後に、両対象流域の、再現期間ごとの比力の推移を図-11, 12に示す。中島川流域では、再現期間が40年

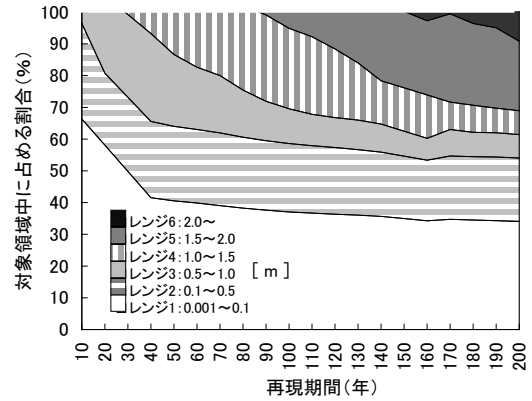


図-7 水深レンジ別の対象領域中に占める割合(中島川)

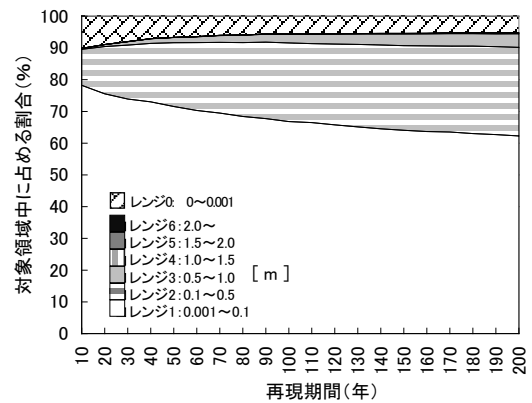


図-8 水深レンジ別の対象領域中に占める割合(寝屋川)

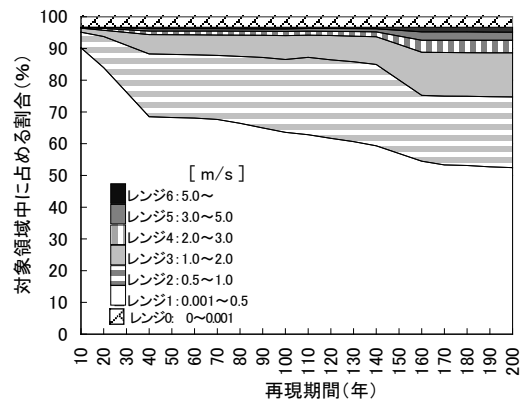


図-9 流速レンジ別の対象領域中に占める割合(中島川)

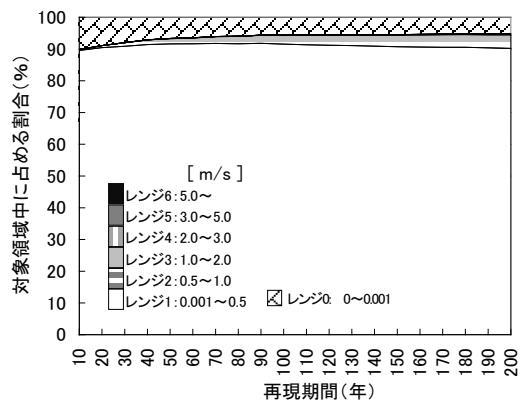


図-10 流速レンジ別の対象領域中に占める割合(寝屋川)

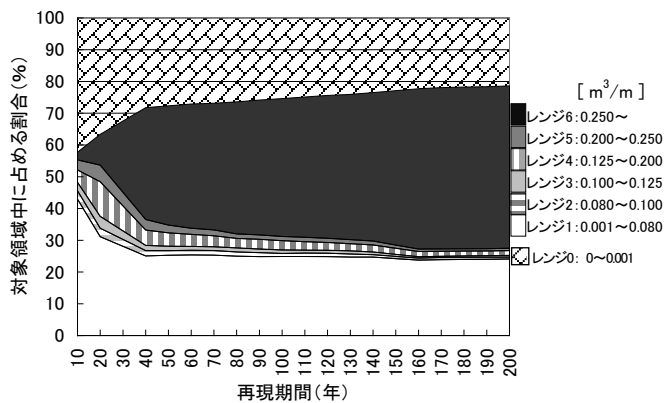


図-11 比カレンジ別の対象領域中に占める割合(中島川)

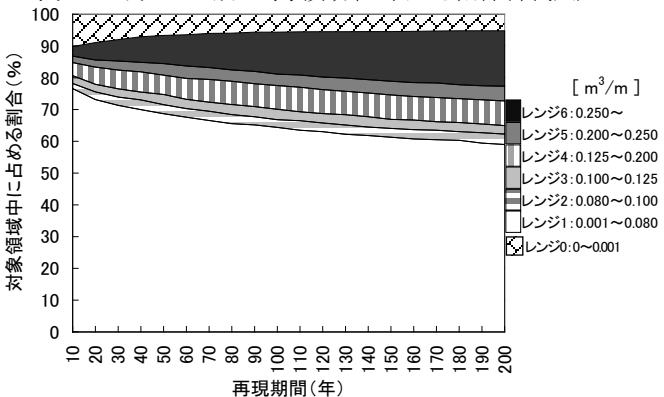


図-12 比カレンジ別の対象領域中に占める割合(寝屋川)

より長くなると、比カが $0.25 \text{ m}^3/\text{m}$ 以上(レンジ6, 成人男性の避難限界)となる領域が50%以上を占めるようになる。一方寝屋川流域では、比カが $0.25 \text{ m}^3/\text{m}$ 以上となる領域は、5~20%の範囲で、再現期間が長くなるとともに緩やかに増加する。

## (2) 被害想定結果

### a) 人的被害

まず、『Life-Simモデル』による在宅状況の死者数想定では、どちらの流域においても、死亡する確率は、数万人~数十万人に一人と小さな値となった。再現期間200年の場合、中島川流域では、人口2万4千人中、10.8人が死亡、寝屋川流域では、人口200万人中、0.4人が死亡する。

しかし、比カを用いた避難行動中の危険性の評価では、両流域において、数人~数十人に一人の確率で、避難行動中に、避難困難状態、あるいは避難限界状態に達することがわかった。この評価では、全人口が自宅を含む計算メッシュ上に存在すると仮定し、避難限界等に達したメッシュ上の人口を合計して求めた。なお、全人口が同時に避難するとは考えにくいので、自宅を出て避難する人の割合(避難率)を変化させて評価した。両流域の避難行動中に避難限界に陥る、人口10人あたりの人数を図-13、14に示す。再現期間200年、避難率(対象人口中の避難する人の割合)が20%の場合、中島川流域では、人口2万4千人中、2175.3人が、寝屋川流域では、人口200

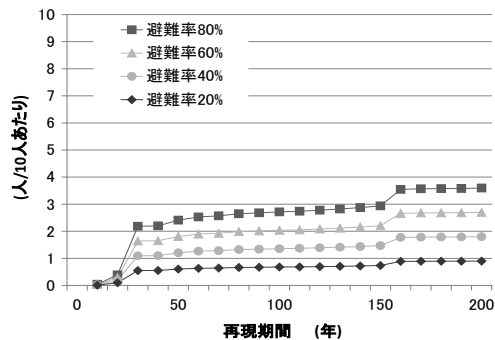


図-13 避難行動中に避難限界に陥る人数(人口10人あたり, 中島川)

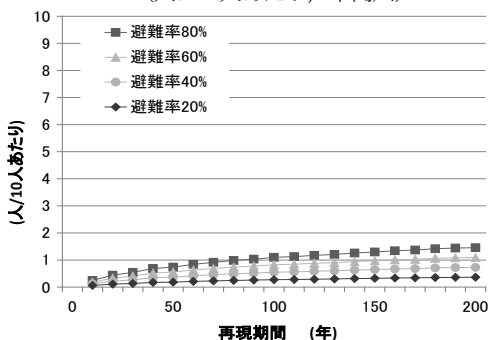


図-14 避難行動中に避難限界に陥る人数(人口10人あたり, 寝屋川)

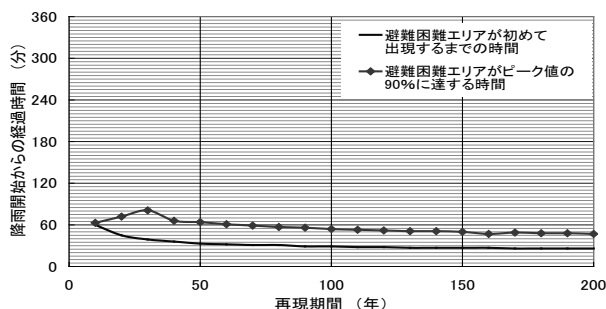


図-15 避難困難エリアが初めて出現するまでの時間およびピーク値の90%に達する時間(中島川)

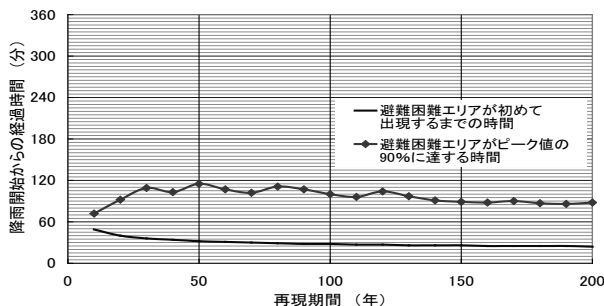


図-16 避難困難エリアが初めて出現するまでの時間およびピーク値の90%に達する時間(寝屋川)

万人中、7万1497.6人が、避難行動中に避難限界状態に陥る。

さらに、降雨開始から避難困難エリアが初めて出現する時間および同エリアの面積が氾濫ピーク値の90%の達する時間を図-15、16に示す。ここでいうピーク値とは、

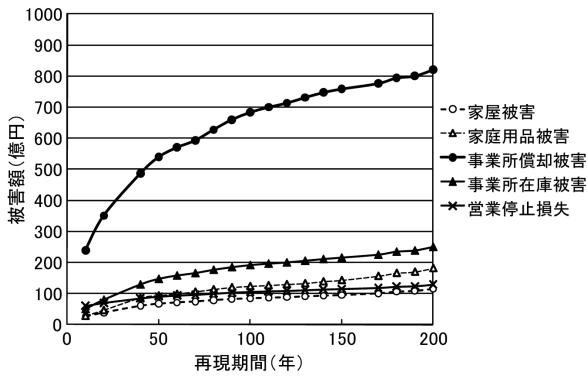


図-17 治水経済調査マニュアルに基づく被害想定(中島川)

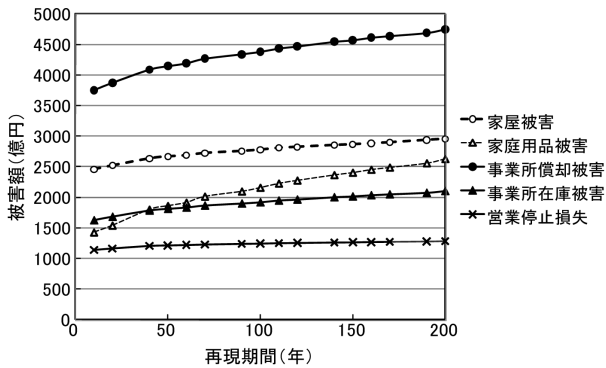


図-18 治水経済調査マニュアルに基づく被害想定(寝屋川)

図-11, 12に示すような、再現期間ごとの比力が $0.125\text{m}^3/\text{m}$ 以上となる面積の最大値(瞬間値)である。

同図から、降雨開始から20~30分で避難困難エリアが両流域で発生する。その後、中島川流域では20~30分以内に、寝屋川流域では約1時間以内に、避難困難エリアが急速に拡大する。住民が避難行動を起こす際、行政の避難指示・勧告がきっかけとなることは少なく、「近所の人から避難の誘いがあった」、「近所の人被害にあったという情報があった」、「自宅が浸水し始めた」等の理由がきっかけとなる場合が多い<sup>9)</sup>。しかし、今回の計算においても、特に中島川流域においては、最初の避難困難エリア発生から20~30分のうちに避難困難エリアが最大の90%に達するため、氾濫が発生してからの避難は避難困難に陥る危険性が高くなると考えられる。また、今回用いたのは、成人男性の避難困難・避難限界指標であるため、それよりも体力的に弱い、子供・高齢者・女性などは、より避難に慎重になる、もしくは早い段階で避難を行う必要がある。避難困難・避難限界に達したからといって即死亡につながるわけではないが、『Life-Simモデル』で求めた在宅状況での予想死亡者数の100倍~1000倍の人数が、「避難行動中に危険にさらされる」可能性がある、よって、やみくもに避難するのではなく、避難行動を起こすべきか、現在地にとどまるべきかを、周囲の状況を見て的確に判断する必要がある。

#### b) 物的被害

治水経済調査マニュアルをもとにした家屋被害額・家

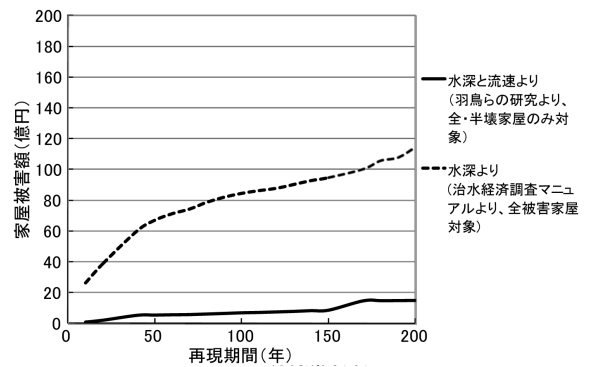


図-19 手法の違いによる家屋被害額の比較(中島川)

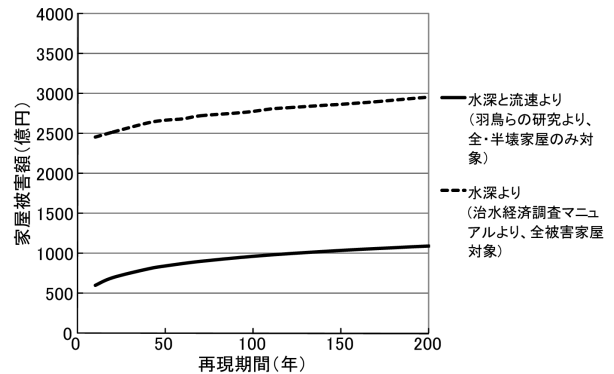


図-20 手法の違いによる家屋被害額の比較(寝屋川)

庭用品被害額・事業所償却資産被害額・事業所在庫資産被害額・営業停止損失は、最大で、中島川流域では数百億円規模、寝屋川流域では数千億円規模となった。被害想定結果を図-17, 18に示す。治水経済調査マニュアルは、浸水深を基準として被害を算定している。どちらの流域でも、全再現期間を通して、事業所償却資産被害額が最も大きい。再現期間が長くなる場合でも、家屋被害額、家庭用品被害額・事業所在庫資産被害額・営業停止損失は、事業所償却資産額と比べて、増加の仕方が緩やかである。

次に、治水経済調査マニュアルをもとに、水深を基準に被害を算定する方法と、羽鳥らの研究を参考に、浸水深のみでなく流速も考慮し算定する方法とで、家屋被害額を比較する。結果を図-19, 20に示す。尚、治水経済調査マニュアルでは、軽微な床下浸水被害から全・半壊被害まで、全ての被害家屋を対象としているが、羽鳥らは、特に被害の大きい、全・半壊家屋のみを対象としている。

どちらの流域でも、全再現期間を通して、水深と流速から求めた全・半壊家屋被害額は、水深から求めた全家屋被害額のうち2割程度を占める。中島川流域では、寝屋川流域と比べて流速が大きいことから、全・半壊家屋被害額の比率が、寝屋川流域よりも大きくなると予想していたが、そのような結果は得られなかった。

また、環境省の指針をもとに算定した水害廃棄物処理費用は、中島川流域で、最大で数億円程度(再現期間200

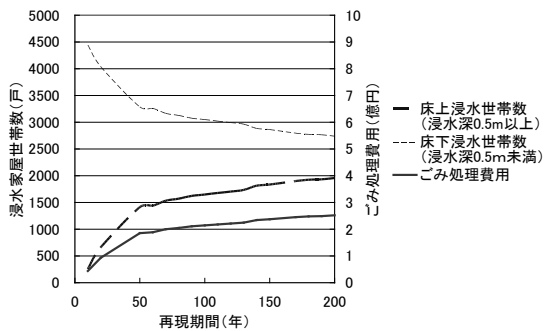


図-21 床下・床上浸水家世帯数と水害廃棄物処理費用  
(中島川)

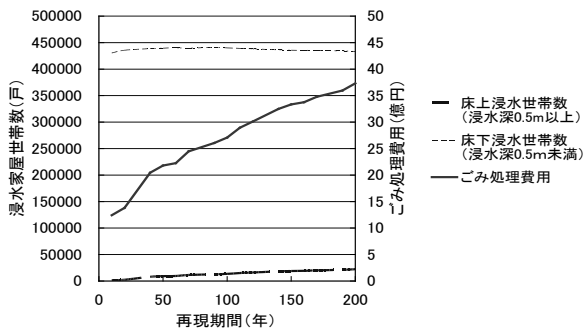


図-22 床下・床上浸水家世帯数と水害廃棄物処理費用  
(寝屋川)

年のとき2億5212万円)、寝屋川流域では数十億円程度(同、37億3114万円)となった。

床下・床上浸水世帯数と水害廃棄物処理費用の関係を図-21, 22に示す。どちらの流域でも、再現期間が長くなると、床下浸水世帯数が減少し、床上浸水世帯数が増加する。水害廃棄物処理費用は、図-17, 18で示した家屋被害額・家庭用品評価額などと比べて、10分の1以下の額ではあるが、自治体が一括して負担する費用であるため、これを試算しておく必要はあると考えられる。

## 5. おわりに

本研究の目的は、水害の際の既存の被害想定手法について検討し、より現実に即した被害想定手法のあり方について考察することである。異なる特徴をもつ長崎市中島川流域および寝屋川流域において氾濫シミュレーションを行い、得られた結果をもとに被害想定を行った。本研究で得られた知見は以下の通りである。

- 人的被害に関しては、在宅の死者数を算定する『Life-Simモデル』による死亡確率は、どちらの流域でも、数千人～数万人に一人と非常に小さい値であった。一方、比力を用いた避難行動中の危険性の評価においては、どちらの流域でも、数人～数十人に一人という高い確率で、避難行動中に危険にさらされることがわかった。このことから、『Life-Simモデル』のみの評価では、水害による死亡の可能性を過小評価してしまう可能性がある。
- 中島川流域では、氾濫開始から短時間で避難困難エリアがピークの90%に達するため、氾濫発生し

てからの避難は危険を伴う可能性がある。

- 物的被害については、治水経済調査マニュアルを用いて家屋被害額・家庭被害額などの被害想定を行うとともに、全・半壊家屋被害については、羽鳥らの研究を参考に算定を試みたが、今回の研究では、中島川流域と寝屋川流域の比較において、この二つの手法により求められた家屋被害に、有意な差は見られなかった。しかし、水深のみでは被害を過小評価する可能性は多数の研究で指摘されており、流速を含めた評価法について、より詳細な検討を行う必要がある。
- また、環境省の指針をもとに算定した水害廃棄物処理費用は、家屋被害額などと比較すると、10分の1以下の金額となった。家屋被害額などと比べれば金額は小さいものの、自治体が一括して負担する費用であるため、これを試算することは意義があると考えられる。

以上を踏まえ本研究では以下のことを強調したい。

- 人的被害想定に関しては、必ず在宅状況での想定および避難行動中の想定という二通りの方法を組み合わせる必要があること。
- また、氾濫事象は短時間のうちに進行することが多く、本研究で『避難行動中に危険にさらされる人数』が非常に大きな値であったことから、自宅待機か、避難かを適切に選択するための判断基準の整備が急務であること。

謝辞：本研究の遂行にあたり、長崎大学の多田彰秀教授、京都大学防災研究所の戸田圭一教授、川池健司准教授、に多大な協力を頂きました。ここに謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 藤田一郎：平成21年台風9号による兵庫県佐用町河川災害について、河川災害に関するシンポジウム、p12-27, 2010.
- 2) Interagency Performance Evaluation Task Force : Estimating Loss of Life from Hurricane-Related Flooding in the Greater New Orleans Area, Loss-of-Life Modeling Report, May22, 2006.
- 3) 浅井良純, 石垣泰輔, 馬場康之, 戸田圭一：高齢者を含めた地下空間浸水時における避難経路の安全性に関する研究, 水工学論文集, 第53巻, p859-864, 2009.
- 4) 国土交通省河川局：治水経済調査マニュアル, 2005.
- 5) 環境省廃棄物対策課：水害廃棄物対策指針, 2005.
- 6) 羽鳥徳太郎：津波による家屋の破壊率, 地震研究所年報 vol. 59, pp. 443-439, 1984.
- 7) 独立行政法人, アメダス確率降雨計算プログラム
- 8) 大本昭憲・藤見俊夫・小場隆太：河川災害における住民の避難行動と災害外力の相関分析, 水工学論文集, 第52巻, p451-45, 2008.

(2010. 4. 8受付)