

水害リスク提示内容の違いが将来の人口分布に 与える影響の評価手法

今井 一貴¹・佐藤 徹治²・神永 希³・杉本 達哉⁴・高森 秀司⁵

¹学生会員 千葉工業大学大学院工学研究科建築都市環境学専攻(〒275-0016 千葉県習志野市津田沼2-17-1)
E-mail:s1024038TQ@s.chibakoudai.jp

²正会員 千葉工業大学教授 工学部建築都市環境学科(〒275-0016 千葉県習志野市津田沼2-17-1)
E-mail:tetsuji.sato@it-chiba.ac.jp

³正会員 八千代エンジニアリング株式会社(〒161-8575 東京都新宿区西落合2-18-12)
E-mail:kaminaga@yachiyo-eng.co.jp

⁴正会員 八千代エンジニアリング株式会社(〒161-8575 東京都新宿区西落合2-18-12)
E-mail:tt-sugimoto@yachiyo-eng.co.jp

⁵正会員 八千代エンジニアリング株式会社(〒540-0001 大阪府大阪市中央区城見1-4-70)
E-mail:takamori@yachiyo-eng.co.jp

現在公表されている洪水ハザードマップでは、150年に1度などの大雨に対しての浸水深の情報が提示されている。しかし、近年の短時間強雨発生回数の増加傾向を踏まえると、より高い確率規模における水害リスク情報等の提示も重要と考えられる。本稿では富山県富山市を対象とし、各種水害対策や土地利用施策、浸水リスクの提示内容の違いが将来時系列の人口分布に及ぼす影響を評価可能な住宅地・住宅床市場の需給均衡を考慮したモデルを構築する。さらに、住民アンケートを利用したモデルの変数設定およびパラメータ推定の方法、アンケート調査内容と結果を示す。

Key Words : *Computable Urban Economic model, flood risk information, distribution of population*

1. はじめに

わが国における水害リスク対策は、堤防・調節池・下水道・人工放水路の整備などのハード施策と、避難支援などのソフト施策を両輪として進められている。ソフト施策の代表的な例として、洪水ハザードマップ（以下、洪水HM）の整備が挙げられる。2001年の水防法改正以降、洪水予報河川および水位周知河川を対象に、浸水想定区域図および洪水HMの整備が進められており、その公表数は、2015年7月18日現在で1,308（国土交通省ハザードマップポータルサイト¹⁾）と一定の水準に達している。

現在公表されている洪水HMは河川によって異なるが、100年に1度や150年に1度の大雨等、ある程度想定した条件下での浸水深が提示されている。しかし、近年の気候変動等を背景とした短時間強雨の発生回数の増加傾向等を踏まえると、水害リスク対応の重要性は高まっており、ソフト施策の展開を図る上でも、洪水HM等の水害リス

ク情報をより理解しやすい情報として提示する工夫は有効と考えられる。

一方、わが国では2000年代後半以降人口が減少に転じ、今後さらなる人口減少が見込まれ、人口減少を踏まえた市街地再編の必要性が高まっている。市街地再編の方向性としては、インフラ維持管理の効率化や環境負荷低減など持続可能な都市を理念とするコンパクトシティの重要性が注目され、富山県富山市をはじめとする多くの自治体がコンパクトシティの実現に向けた都市計画、土地利用施策を進めている。

そこで本稿は、人口減少時代における市街地の水害リスク低減方策の検討の一助として、水害リスク情報の提示は将来の人口分布に影響するとの仮説の下、水害リスクの提示内容の違いによる将来の人口分布の変化を評価するモデルを構築し、河川と都市の連携による水害リスク低減の可能性を検討することを目的とする。

2. 本研究の位置づけ

土地利用施策に伴う家計・企業の立地選択変化を小地域で分析可能な代表的なモデルとしては、土地利用マイクロシミュレーションモデルと応用都市経済（CUE：Computable Urban Economic）モデルが挙げられる。

UrbanSim² に代表される土地利用マイクロシミュレーションモデルは、各種属性の家計や企業の土地利用行動の違いに着目したモデルであり、近年ではマイクロデータの精緻化や住宅属性の違いの考慮などによるモデルの改良が図られている。杉木ら（2013）³ は、マイクロシミュレーションにおける初期世帯マイクロデータ推計システムを富山市に適用し、世帯構成・続柄・年齢・性別人口のゾーン別推計を行い、実都市への適用可能性を確認している。金崎ら（2014）⁴ は、マイクロシミュレーションを行う際、年代によって世帯属性や住宅属性が転居行動へ与える影響が異なると考え、ロジットモデルを用いて転居年代の違いによる転居行動を分析している。

CUEモデルは、家計や企業等の最適行動と土地市場における需給均衡（立地均衡）を仮定したモデルで、上田ら（2009）⁵ により発展経緯が整理されている。CUEモデルに関する近年の研究としては、萩野ら（2011）⁶、堤ら（2012）⁷ などがある。萩野ら⁶ は、物流施設や工場・商業施設を対象に立地均衡モデルを構築し、東京都市圏における人口の都心回帰が産業立地に及ぼす影響を分析している。堤ら⁷ は、土地市場だけでなく建物市場を考慮したCUEモデルを構築し、東京湾アクアラインの料金値下げの効果について従来のCUEモデルとのシミュレーション比較を行い、建物市場の考慮が推計結果に及ぼす影響を考察している。

また、水害リスクを考慮したCUEモデルに関する既往研究としては、高木ら（2001）⁸、寺本ら（2010）⁹、今井ら（2014）¹⁰ が挙げられる。高木ら⁸ は、浸水リスクが立地選択に影響を及ぼすと仮定し、そのメカニズムのモデル化を行い、治水対策による便益を評価している。寺本ら⁹ は、多くの世帯は浸水リスクをあまり考慮せず立地選択行動すると仮定してモデル構築を行い、大阪都市圏および東京都市圏を対象に浸水リスクに基づいた土地利用規制政策を実施した場合に生じる費用と便益を比較している。今井ら¹⁰ は、各年における転居意思ありの世帯のみについて住宅地・住宅床の需給均衡を定式化し、水害リスクを考慮しつつ将来時系列の人口分布の変化が推計できるモデルを構築し、富山市を対象に水害リスクが将来の人口分布に及ぼす影響について試算を行っている。しかし、これらの既存研究では現在のハザード情報に基づく立地選択行動を仮定している。

本稿のモデルは、各年における転居意思ありの世帯について、既存のハザード情報と新たなハザード情報を提示した場合の住宅地・住宅床の需給均衡をそれぞれ定式化し、提示内容の違いが将来時系列の人口分布に及ぼす

影響を評価できる点に特徴がある。

3. 対象地域

対象都市は、LRT整備を進め、駅周辺に都市機能を集積させるコンパクトシティ政策を行っている先進的な自治体の一つである富山市とする。富山市の市街地は、一級河川であり急流河川として知られている神通川と常願寺川に挟まれた扇状地に位置しており、想定する大雨による浸水想定区域内に位置している。

対象圏域は、富山市域のうち、2010年度時点で世帯が存在する地域（平成22年国勢調査）とする。また、単位地域は世界測地系500mメッシュとする。対象圏域および単位地域を図-1に示す。

4. 洪水HMIに関するアンケート

浸水リスクに対する住民の意識を把握するためのアンケート調査を実施する。調査は富山市在住の世帯主を対象に2014年9月、11月にwebアンケート方式で実施した。調査項目、調査実施日、回答数を表-1、アンケート調査結果の一部を図-2、図-3、図-4に示す。

図-2より、居住地の選択に関する意識において、浸水深が0.5m以上になると許容できないと回答する人が急増する傾向が見られる。これは床上浸水とされる高さに該当し、床上浸水は許容できない人が多いことが示唆される。図-3見てみたい浸水リスク情報では、5～10年に一回程度の身近に起こる洪水と回答する割合が高く、既存の洪水HMIで公開されている150年に一回程度の洪水と回答する割合は低い。また図-4土地の危険度をイメージしやすい指標としては、「特定の浸水深となる頻度」と回答した割合が半数程度を占める結果となり、新たな洪水HMI作成の際「特定の浸水深となる頻度」が有効であ

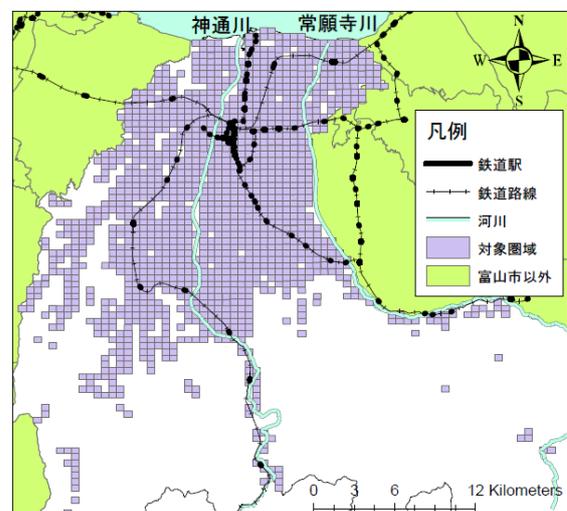


図-1 対象圏域と単位地域

表-1 洪水HMに関するアンケート調査項目

調査項目	実施日	回答数
1. 洪水HMに関する意識	2014年 9月12日～ 9月17日	336
・洪水HMの存在の認知		
・洪水HMのわかりやすさ		
2. 居住地の選択に関する意識	2014年 11月7日～ 11月14日	600
・現在の居住地における水害リスクの考慮について		
・居住地の選択において許容できる浸水リスクについて		
3. 浸水リスクに対する意識		
・現在の洪水HMに追加してあるとよい情報について		
・浸水リスク情報として見てみたい情報について		
・新たな浸水リスク情報のイメージしやすさについて (土地の危険度、避難時の緊急度)		

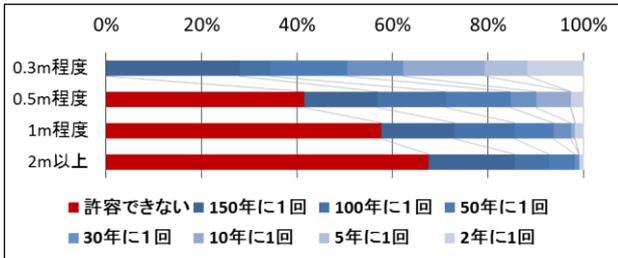


図-2 転居先地域における許容浸水深

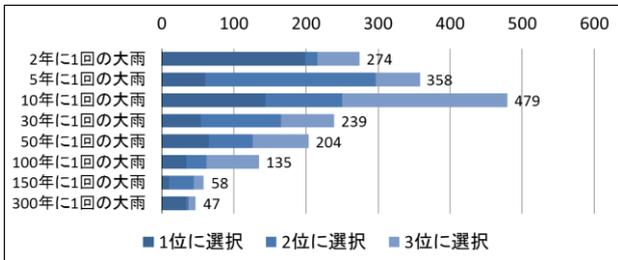


図-3 見てみたい浸水リスク情報

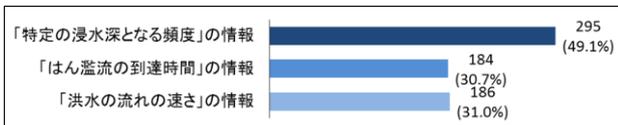


図-4 土地の危険度をイメージしやすい指標

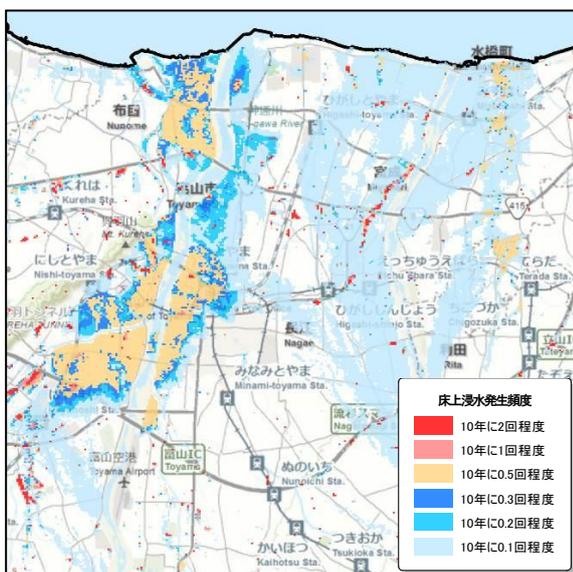


図-5 床上浸水の発生頻度HM¹⁾

ると考えられる。

新たな洪水HMの例として、富山市における床上浸水の発生頻度を示したものを図-5に示す。

5. 人口分布推計モデル

(1) モデルの概要

モデルは、 t 年の世帯分布を所与とし、家計の転居行動、住宅地（集合住宅の場合は住宅床）の需給バランスを考慮して $t+5$ 年の世帯分布をアウトプットする体系とする。アウトプットされた世帯分布を再びモデルにインプットすることによって将来時系列の世帯分布、さらに平均世帯人員を考慮して将来時系列の人口分布を推計することが可能となる。

家計の行動は、①転居意思の有無、②転居先地域の選択の2段階での意思決定行動を仮定する。また、転居先地域の選択に際しては、転居先候補となる各地域の水害リスクに関する情報が行動に影響を与えるものとする。

本稿のモデルのフローを図-6に示す。

(2) モデルの定式化

a) 転居行動モデル

転居行動は、ライフステージの変化（例えば、子どもの独立、就職、結婚、持家の購入など）に際して発生する 경우가多く、ライフステージの変化は年齢階層との関連性が高いと考えられる。また、ライフステージの変化に伴う転居の場合、転居先の住居タイプの想定（例えば子どもの独立や就職の場合、集合住宅賃貸の1人暮らし向け、結婚の場合、集合住宅賃貸の2人暮らし向けなど）がある程度可能であると考えられる。そこで、実態データに基づき世帯主の年齢階層別、転居先の希望住居タイプ別に転居意思ありの世帯比率を設定する。

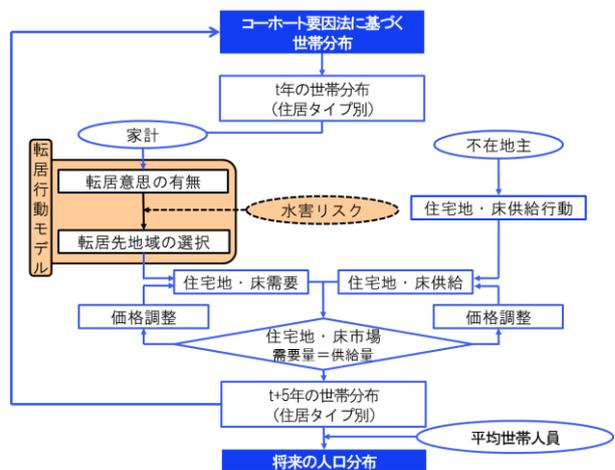


図-6 人口分布推計モデルフロー

各世帯の転居先地域の選択は、各転居先候補地域における効用水準を基に多項ロジットモデルで決定されると仮定する。各世帯の転居先地域の選択確率を(1)~(4)式に示す。このうち(3)式は、従来の洪水 HM を提示された場合の部分効用関数であり、(4)式は新たな水害リスク情報を提示された場合の部分効用関数である。

$$P_j^{rs} = \frac{\exp(U_j^{rs})}{\sum_s \exp(U_j^{rs})} \quad (1)$$

$$U_j^{rs} = V_j^{rs} + \varepsilon_j^{rs} \quad (2)$$

$$V_j^{rs} = f(R_j^s, Z1^s, Z2^s, \dots, Zn^s, H_i) \quad (3)$$

$$V_j^{rs} = f(R_j^s, Z1^s, Z2^s, \dots, Zn^s, FR_j^s) \quad (4)$$

ここで、 P_j^{rs} はゾーン r に居住し住居タイプ j への転居を希望する世帯のゾーン s の選択確率を表す。 U は効用水準を表し、 V は効用水準確定項、 ε は効用水準確率項である。 R は地価または家賃、 Zn は n 番目の住環境評価項目、 H は想定最大浸水深、 FR は新たな水害リスク指標である。

b) 住宅地・住宅床需要量

各ゾーンの住宅地（集合住宅の場合は住宅床）の需要は、各ゾーンに転入する世帯数に 1 世帯あたりの住宅地（または住宅床）面積を掛け合わせることで求められる。 t 年の住宅地（または住宅床）需要面積を(5)式、 t 年の世帯数を(6)式に示す。

$$Q_{j,t}^s = l_j^s \sum_r N_{j,t-5}^{*r} P_j^{rs} \quad (5)$$

$$N_{j,t}^s = N_{j,t-5}^s - N_{j,t-5}^{*s} + \sum_r N_{j,t-5}^{*r} P_j^{rs} \quad (6)$$

ここで Q は住宅地または住宅床需要面積、 N は世帯数、 l は 1 世帯あたりの住宅地または住宅床面積、 N^* は転居意思ありの世帯数を表す。

c) 住宅地・住宅床供給量

一般的な CUE モデルと同様に、不在地主による住宅地（集合住宅の場合は住宅床）の供給行動を仮定する。ここで、不在地主は、地価または家賃が高い場合に供給可能面積のうちより多くの住宅地または住宅床を供給するものとする。 t 年における住宅地または住宅床供給面積を(7)式に示す。

$$L_{j,t}^s = \left(1 - \frac{\delta_j^s}{R_{j,t}^s}\right) Y_{j,t}^s \quad (7)$$

L は住宅地または住宅床供給面積、 R は地価または家賃、 δ はパラメータ、 Y は供給可能面積を表す。

d) 住宅地・住宅床市場の均衡

各ゾーンにおいて各住居タイプの住宅地（住宅床）需要面積と住宅地（住宅床）供給面積が一致するように住宅地・住宅床市場で価格調整が行われ、最終的に各ゾーンの立地面積が決定される。 t 年における住宅地または住宅床の需要と供給の均衡を(8)式に示す。

$$L_{j,t}^s (R_{j,t}^s) = Q_{j,t}^s (R_{j,t}^s) \quad (8)$$

6. 実証分析

(1) モデルのパラメータの推定方法

(3)、(4)式のパラメータ推定は、富山市に在住する世帯主を対象とする水害リスクを考慮した居住地選択プロファイルアンケート調査の個票データを用い、最尤法により行う。パラメータ推定は住居タイプ別に行うため、居住地選択プロファイルは、転居後の希望住居タイプ別に作成する。また、プロファイル選択を行う際、水害リスクの提示方法による違いを示すため、プロファイルは従来の洪水 HM を前提とするものと新たなリスク情報として床上浸水の発生頻度が提示されることを前提とするものの 2 通り作成する。

なお、プロファイルアンケート調査に先立ち、住居タイプ別のプロファイル作成に向けた実態把握や転居先地域選択の水害リスク以外の要因を絞り込むこと、すなわち(3)式、(4)式における Zn を特定化することを目的とし、プレアンケート調査を実施する。

(2) プレアンケート調査

プレアンケート調査では、個人属性、現在の転居意向に加え、通勤・通学先や生活関連施設への近接性、地価・家賃、水害リスク等の各種項目の転居先地域選択の際の重視度、重視する項目の許容目安を尋ねる。調査項目の詳細を表-2に示す。

調査は民間リサーチ企業に依頼して 2015 年 7 月 21 日～27 日に web 調査で実施し、有効回答数は 600 であった。プレアンケート調査における転居意向の集計結果の一部を図-7、図-8に示す。

図-7 転居の意思では、転居の意思がある世帯は 600 世帯中 125 世帯と約 2 割であり、このうち富山市内に転居する可能性がある世帯は 125 世帯中 71 世帯と約 57%（全体では 12%）となっている。

図-8 転居先地域選択の際の重視度では、「非常に重視する」と「重視する」を選択した割合は、「⑩食品スーパーまでの近さ」が最も高く 70% 近くに達する。同様に、

「①職場・学校までの近さ」「④除雪の頻度」が50%を上回る結果となっている。また、水害リスクの項目に該当する「②水害時の浸水深の浅さ、浸水頻度の少なさ」は、50%には届いていないが、約45%と24項目中でも比較的重視度が高い項目(7番目)であり、水害リスクは転居先地域選択時に重視する項目として一定程度評価されていることが示唆される。

表-2 プレアンケート調査項目

調査項目	
1. 世帯属性	
・年齢、性別、職業、世帯人数	
・自家用車、鉄道、路面電車、バスの利用頻度	
・最も利用する公共交通機関までの所要時間と手段	
・職場までの時間、交通手段、地域	
・住居タイプ、居住年数	
・1ヶ月あたりの生活費	
2. 転居の意向	
・転居の意思	
・転居先の住居タイプ	
・転居先の土地、床面積	
3. 転居の際の各項目の重視度	
・転居先地域選択の際の重視度(許容目安(重視する項目のみ))	
①職場・通学先までの近さ	⑬役所までの近さ
②最寄り鉄道駅までの近さ	⑭子どもの小中学校までの近さ
③最寄り路面電車電停までの近さ	⑮金融機関までの近さ
④最寄りバス停までの近さ	⑯総合病院までの近さ
⑤富山駅へのバス運行本数の多さ	⑰町医者・クリニックまでの近さ
⑥富山駅までの近さ	⑱公園・緑地までの近さ
⑦中心市街地までの近さ	⑲現在の居住地域からの近さ
⑧インターチェンジまでの近さ	⑳実家や親類宅からの近さ
⑨国道までの出やすさ	㉑地域コミュニティ活動の充実度
⑩食品スーパーまでの近さ	㉒水害時の浸水深の浅さ、浸水頻度の少なさ
⑪コンビニまでの近さ	㉓地価・家賃の低かさ
⑫総合スーパー・大型商業施設までの近さ	㉔除雪の頻度

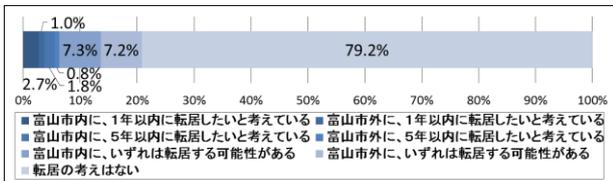


図-7 転居の意思

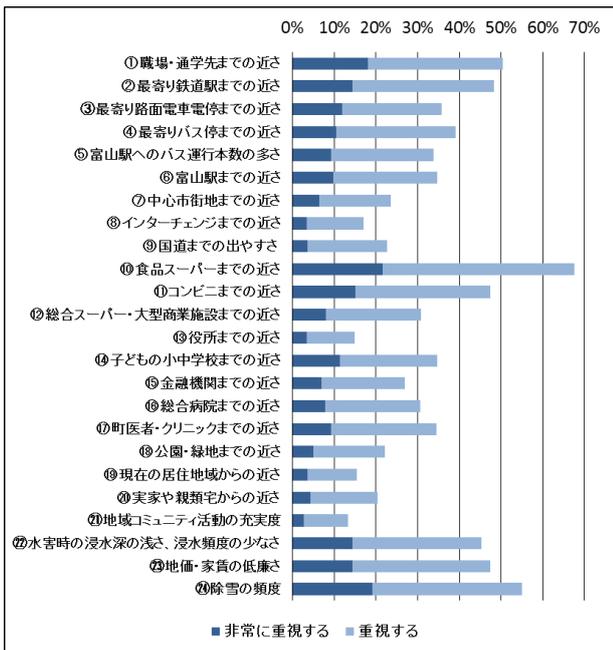


図-8 転居の際の重視度構成

(3) プロファイルアンケート調査

プロフィールアンケート調査は、個人属性(年齢階層、性別、家族構成、居住地域、住居タイプ等)に回答してもらった後、転居後の希望住居タイプ別に、プレアンケート調査の結果に基づき作成された仮想的な転居先地域のうちもっとも望ましい地域を選択してもらう形式とする。また、新たなリスク指標、すなわち(4)式のFRについては、「4. 洪水HMに関するアンケート」における結果を参考に、床上浸水の発生頻度とする。従来の洪水HMの提示を前提としたプロフィールアンケート調査票例を表-3に、床上浸水の発生頻度HMの提示を前提としたプロフィールアンケート調査票例を表-4に示す。

7. おわりに

本稿では、富山市在住の世帯主を対象として、現在の洪水HMや浸水リスクの提示内容に対する意識等を尋ねるアンケート調査を実施した上で、浸水リスクの提示内容の違いが将来の人口分布に及ぼす影響を評価可能なモデルの構築を行った。さらに、住民アンケート調査を利用したモデルの変数設定およびパラメータ推定の方法を示し、プレアンケート調査を行った。この結果、「特定の浸水深となる頻度」が新たな水害リスク提示方法として有効であること、水害リスクは転居先地域選択に際して一定程度重視されていること等が示唆された。

表-3 プロファイル調査票例(戸建持家)
(従来の洪水HMの提示を前提)

質問	I			II			III		
	所要時間(自家用車)	最寄りの駅までの所要時間(徒歩)	子どもの小中学校までの所要時間(徒歩)	所要時間(自家用車)	最寄りの駅までの所要時間(徒歩)	子どもの小中学校までの所要時間(徒歩)	所要時間(自家用車)	最寄りの駅までの所要時間(徒歩)	子どもの小中学校までの所要時間(徒歩)
食品スーパーまでの所要時間(自家用車)	5分	10分	15分	5分	10分	15分	5分	10分	15分
最寄りの駅までの所要時間(徒歩)	5分	10分	5分	5分	10分	5分	5分	10分	5分
子どもの小中学校までの所要時間(徒歩)	5分	10分	15分	10分	5分	15分	10分	5分	15分
洪水時に想定される最大浸水深	50cm	0m	2m	0m	2m	50cm	0m	2m	50cm
1㎡あたりの地価	6万円	8万円	4万円	6万円	4万円	8万円	6万円	4万円	8万円

表-4 プロファイル調査票例(戸建持家)
(床上浸水の発生頻度洪水HMの提示を前提)

質問	I			II			III		
	所要時間(自家用車)	最寄りの駅までの所要時間(徒歩)	子どもの小中学校までの所要時間(徒歩)	所要時間(自家用車)	最寄りの駅までの所要時間(徒歩)	子どもの小中学校までの所要時間(徒歩)	所要時間(自家用車)	最寄りの駅までの所要時間(徒歩)	子どもの小中学校までの所要時間(徒歩)
食品スーパーまでの所要時間(自家用車)	5分	10分	15分	5分	10分	15分	5分	10分	15分
最寄りの駅までの所要時間(徒歩)	5分	10分	5分	5分	10分	5分	5分	10分	5分
子どもの小中学校までの所要時間(徒歩)	5分	10分	15分	10分	5分	15分	10分	5分	15分
50cm浸水する頻度(床上浸水の頻度)	50年に一度	150年に一度	10年に一度	10年に一度	150年に一度	50年に一度	10年に一度	150年に一度	50年に一度
1㎡あたりの地価	6万円	8万円	4万円	6万円	4万円	8万円	6万円	4万円	8万円

今後は、プロファイルアンケート調査を行い、パラメータ推定等の実証分析を進めていく予定である。

今後の課題として、人口分布推計モデルを用いて水害リスク軽減対策シナリオ（例えば土地利用規制や、堤防の整備など）を与えた場合の被害減少便益や費用を把握し、人口減少下における水害リスクを考慮した望ましい都市のあり方を検討すること等が挙げられる。

謝辞：本研究は、国土交通省河川砂防技術研究開発制度（流域計画・流域管理課題分野）による「浸水リスクの変化とその提示内容改善が将来の人口分布・土地利用に与える影響とそれらを考慮した水害リスク軽減対策に関する研究」（平成26～27年度）の研究成果の一部をとりまとめたものである。また、本研究で使用した床上浸水の洪水発生頻度算出にあたっては、八千代エンジニアリング株式会社石徹白伸也氏、天方匡純氏、島田高伸氏にご協力を賜った。ここに記して謝意を表したい。

参考文献

- 1) ハザードマップポータルサイト, 国土交通省, <http://disapotal.gsi.go.jp/>.
- 2) Paul Waddel : UrbanSim: Modeling Urban Development for Land Use, Transportation and Environmental Planning, APA Journal, Vol.68, No.3, pp297-314, 2002.
- 3) 杉木直, 村中智哉, 宮本和明: 実都市を対象とした初期マイクロデータの推定方法の適用と検証, 土木計画学研究・講演集 (CD-ROM), Vol.47, 2013.
- 4) 金崎智也, 北詰恵一, 井ノ口弘昭: 富山市における住宅地選択モデルによる都市政策評価, 土木学会土木計画学研究・講演集 (CD-ROM), Vol.49, 2014.
- 5) 上田考行, 堤盛人, 武藤慎一, 山崎清: 我が国における応用都市経済モデル—特徴と発展経緯—, 計画・交通研究会 ワーキングペーパーシリーズ, No.9-3, 2009.
- 6) 萩野保克, 遠藤弘太郎, 兵藤哲朗: 土地需給バランスを考慮した施設立地モデルによる東京都市圏の物流施設配置分析, 都市計画論文集, Vol.46, No.3, pp.859-864, 2011.
- 7) 堤盛人, 宮城卓也, 山崎清: 建物市場を考慮した応用都市経済モデルの可能性, 土木計画学論文集, Vol.68, No.4, pp.333-343, 2012.
- 8) 高木朗義, 武藤慎一, 太田奈智代: 応用都市経済モデルを用いた治水対策の経済評価, 河川技術論文集, Vol.7, pp.423-428, 2001.
- 9) 寺本雅子, 市川温, 立川康人, 椎葉充晴: 水災害危険度に基づく土地利用規制の適用性に関する分析, 土木学会論文集 B, Vol.66, pp.130-144, 2010.
- 10) 今井一貴, 佐藤徹治, 杉本達哉, 高森秀司: 水害リスクを考慮した土地利用施策評価のための将来の人口分布推計モデル, 土木計画学研究・講演集 (CD-ROM), Vol.50, 205, 2014.
- 11) 八千代エンジニアリング株式会社・千葉工業大学共同研究体: 浸水リスクの変化とその提示内容改善が将来の人口分布・土地利用に与える影響とそれらを考慮した水害リスク軽減対策に関する研究, 中間報告書, 2015.