住宅タイプ・年齢階層別人口分布を踏まえた水害リスクの時系列推計手法の提案とリスク軽減施策の影響分析

坂野　繁輝[1]・佐藤　徹治[2]

[1]学生非会員　千葉工業大学大学院　創造工学研究科　都市環境工学専攻（〒275-0016 千葉県習志野市津田沼 2-17-1 ）
E-mail: s18B2046TR@s.chibakoudai.jp

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

豪雨災害が増加する中で，多くの地方都市では将来の人口減少を踏まえた水害リスク軽減施策の実施が求められている．本研究では，水害リスクが転居行動に及ぼす影響を考慮した都市内の人口分布・水害リスク分布の時系列推計手法を検討した．人口分布の推計手法は，立地均衡モデルとコーホート要因法を組み合わせたものとした．立地均衡モデルでは，住宅タイプ・年齢階層別の行動の違いを考慮した．また，住宅タイプ・年齢階層別，浸水深別のリスクの違いを踏まえた水害リスク指標を提案した．宮崎県宮崎市を対象に実証モデルを構築し，水害リスク軽減施策による影響を分析した．水害リスク軽減施策としては，想定最大浸水深を低減させるハード施策，居住誘導区域かつ浸水深が小さい地域に転居する世帯に対して補助金を給付するソフト施策を仮定した．

Key Words: *水害リスク，都市内人口分布，時系列推計，立地均衡モデル*

1. はじめに

近年，地球温暖化が進む中で，日本でも豪雨の発生頻度が増加している．アメダスで観測された全国の 1 時間あたりの降水量が 50 ㎜の年間発生回数は，1980 年頃には約 230 回であったが，2020 年頃には約 330 回と約 1.5 倍に増加している．激甚災害に認定された台風や豪雨も増加傾向にあり，2018 年 9 月～2023 年 8 月の直近 5 年間では 13 件発生している．そのため，洪水等の水害リスクに対応する対策がこれまで以上に重要になっている．

水害リスクを軽減する施策は，ハード施策とソフト施策に大別できる．ハード施策には，河道掘削や堤防整備，調整池等の河川整備，止水版や雨水ポンプ設置等の流域・住宅対策，上下水道の整備等がある．ソフト施策には，低リスク地域への移住者への補助金給付等による居住誘導や土地利用規制，防災教育の実施，避難に関する情報共有等がある．

日本における居住誘導施策としては，2014 年の都市再生特別措置法改正により創設された立地適正化計画制度がある．同制度では，市街化地域の一部を居住誘導区域に指定し，人口集約を促すことができる．同制度は 2020 年に改正され，居住誘導区域から災害レッドゾーンを原則除外すること，災害想定区域を居住誘導区域に含める場合には防災指針を作成することが定められた．

今後多くの都市で，水害リスクを軽減するハード施策や立地適正化計画に基づく居住誘導等のソフト施策を検討する際には，各種施策が都市内における将来の長期的な人口分布や水害リスク分布に及ぼす影響を把握し，それらを可視化することが有用であると考えられる．

そこで本研究では，都市内の住宅タイプ・年齢階層別人口分布の時系列推計手法，住宅タイプ・年齢階層別，浸水深別のリスクの違いを踏まえた水害リスク指標を提案する．また，豪雨による水害リスクの高い宮崎県宮崎市を対象に実証モデルを構築し，水害リスクを軽減させるハード施策，ソフト施策の実施が都市内人口分布，水害リスク分布に及ぼす時系列の影響を分析し，その可視化を試みる．ハード施策としては，水害リスクを 0 とするハード整備，ソフト施策としては，立地適正化計画における居住誘導区域内かつ浸水深が小さい地域に転居する世帯に対して補助金を支給する誘導施策を検討する．

2. 関連既往研究と本研究の位置づけ

(1) 水害リスクの評価に関する既往研究

水害リスクを定量的に把握・評価し，その特性を分析する手法として水害リスクカーブがある．水害リスクカーブは，想定される年間被害額と年超過確率の関係を表す曲線であり，水害リスクの特性，再帰期間と被害額の関係や被害額期待値として確率的かつ定量的に示したものである．水害リスクカーブを表現する際に一般的に用いられる分析手法として，F-D 法（Frequency-Damage method）が挙げられる．

大楽ら [1]は，建物市場を考慮した応用都市経済モデルと F-D 法に基づく都道府県・市区町村単位での内水氾濫リスクを確率的に評価する手法を開発し，東京都市圏の水害リスクの年代別評価を行った．

松川 [2]は居住誘導区域かつ想定浸水区域である地域を市街地評価と浸水リスク評価の 2 つの観点から複合評価行い，各種対策の方針や居住誘導区域のあり方や設定方法等についてまとめた．この研究では，防災まちづくりガイドラインの水災害リスクの評価手法を参考に評価が行われている．

しかし，水害リスクと転居行動の関係を考慮して将来時系列の人口分布を推計した上で，その結果に基づき水害リスク分布を推計，可視化した研究は見当たらない．

(2) 都市モデルを用いた水害リスク軽減施策評価に関する既往研究

立地均衡型都市モデルを用いて，各種水害リスク軽減施策の実証的な評価手法を提案している既往研究として，寺本ら [3]，今井ら [4]がある．寺本らは，世帯所得の分布を考慮した立地均衡モデル，水害リスクに対応した土地利用規制の費用便益評価手法を構築し，寝屋川流域における土地利用規制の評価を行った．また，土地利用規制が世帯に与える影響を所得の違いに応じて分析した．

今井らは，時系列に拡張した立地均衡モデルを構築し，富山市を対象に人口誘導，立地規制等のソフト施策による水害リスク軽減施策が都市内人分布に及ぼす長期的な影響を分析した．

しかし，これらの研究では，住宅立地主体の家計を所得階層，もしくは住宅タイプのみで分類しており，水害リスクを評価する上で不可欠と考えられる年齢階層別の人口分布推計が行われていない．さらに，所得や人口の増減のみから施策評価を行っており，水害リスクの視点からの施策評価が行われていない．

(3) 本研究の位置づけ

本研究では，将来時系列の住宅タイプ・年齢階層別都市内人口分布の推計が可能な立地均衡型都市モデルを構築するとともに，住宅タイプ・年齢階層別，浸水深別のリスクの違いを踏まえた水害リスク指標を提案する．さらに，宮崎市を対象として，実証モデルを構築し，将来時系列の人口分布および水害リスク分布の推計，ハード・ソフト施策によるこれらの変化の推計・可視化を行う．

水害リスクと住宅タイプ・年齢階層の関係を考慮して，将来時系列の人口を推計可能な立地均衡型都市モデルを構築する点，年齢階層別のリスクの違いを考慮した水害リスク指標と人口分布の推計結果を用いて水害リスク分布を推計し，ハード施策・ソフト施策を評価する点は，既往研究と比較しての本研究の特徴である．

3. 都市内人口分布推計モデル

(1) 概要

都市内人口分布推計モデルは，立地均衡モデルとコーホート要因法を組み合わせたものとする．立地均衡モデルでは，世帯を転居する世帯と転居しない世帯に分け，各年の各ゾーンにおける転居世帯による住宅床の需要と不在地主による住宅床の供給が均衡することを仮定する．また住宅タイプ・年齢階層によって，水害リスクを踏まえた転居行動に違いがあることとし，住宅床需要については，住宅タイプおよび世帯主の年齢階層別に推計する．また，図-1 に，本研究の人口分布推計モデルのフローを示す．

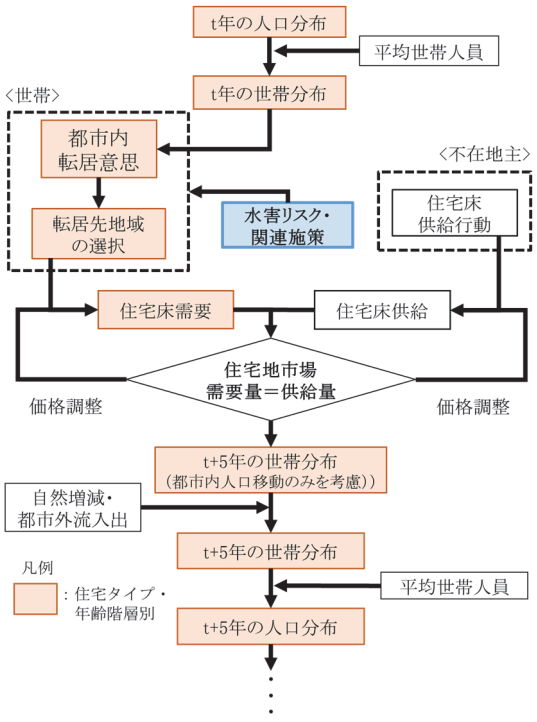


図-1 都市内人口分布推計モデルのフロー

(2) 転居先ゾーンの選択

各世帯の転居先ゾーンの選択確率は，住宅タイプ・世帯主の年齢階層別に転居先候補の効用水準を基に多項ロジットモデルで表現できると仮定する．転居先ゾーン選択確率を(1)式，各ゾーンの部分効用を(2)式に示す．

ここで，下添字 i はゾーン，h は住宅タイプ，g は年齢階層，t は年を表す．P は転居先ゾーン選択確率，V は部分効用，τ はその他の効用，r は床賃料，$\mathbb{Z}$は床賃料以外の各種要因ベクトルを表す．

$$P_{i,h,g,t} = \frac{\mathrm{EXP}(V_{i,h,g,t} + \tau_{i,h,g})}{\sum \mathrm{EXP}(V_{i,h,g,t} + \tau_{i,h,g})} \quad (1)$$

$$V_{i,h,g,t} = \mathrm{f}\left(r_{i,t}, \mathbb{Z}_{i,t}\right) \quad (2)$$

(3) 住宅床需要量

1 世帯あたりの住宅床の需要面積は，(3)式に示すとおり，地代によって変化すると仮定する．各ゾーンの住宅床の需要量は，(4)，(5)式のとおり，1 世帯あたりの住宅床需要面積に各ゾーンに転入する世帯数を乗じることで求めることができる．

ここで，L は 1 世帯あたりの住宅床需要面積，y は所得，N は転入世帯数，NT は都市内転居意思ありの総世帯数，D は住宅床需要量である．

$$L_{i,h,g,t} = \frac{b_h}{r_{i,t}} y_{i,h,g,t} \quad (3)$$

$$N_{i,h,g,t} = P_{i,h,g,t} \cdot NT_{h,g,t} \quad (4)$$

$$D_{i,h,g,t} = L_{i,h,t} \cdot N_{i,h,g,t} \quad (5)$$

(4) 住宅床供給量

不在地主による住宅床供給量は，(6)式に示すとおり，地代によって変化すると仮定する．ここで，S は住宅床供給量，σはパラメータ，$\overline{S}$は供給可能面積である．

$$S_{i,t} = \left(1 - \frac{\sigma_i}{r_{i,t}}\right) \cdot \overline{S}_{i,t} \quad (6)$$

(5) 住宅床市場の均衡

各ゾーンにおいて住宅床需要面積と住宅床供給面積が一致するように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 年における住宅床の需要と供給の均衡を(7)式に示す．

$$S_{i,t}(r_{i,t}) = \sum_h \sum_g D_{i,h,g,t}(r_{i,t}) \quad (7)$$

(6) 将来時系列の供給可能面積

各年において，世帯の転出または転入行動によりゾーン内の供給可能面積が(8)式のとおり変化すると仮定する．

$$\overline{S}_{i,t+5} = \overline{S}_{i,t} - \sum_g \left\{ L_{i,h,t} \left(N_{i,h,g,t+5} - N_{i,h,g,t} \right) \right\} \quad (8)$$

4. 水害リスク指標

水害リスク指標は，各ゾーンの想定最大浸水深と都市内人口分布推計モデルで推計される住宅タイプ・年齢階層別人口を用い，(9)式のとおりとする．

$$FR_{i,t} = \theta_{FD} \cdot FD_{i,t} \cdot \sum_h \sum_g \theta_h \cdot \theta_g \cdot POP_{i,h,g,t} \quad (9)$$

ここで FR は水害リスク指標，FD は想定最大浸水深，POP は人口，θ_{FD}は浸水深別重み付けパラメータ，θ_hは住宅タイプ別重み付けパラメータ，θ_gは年齢階層別重み付けパラメータを表す．

θ_{FD}，θ_hは浸水深別の被害規模の違いを考慮し，国土交通省水管理・国土保全局の「治水経済調査マニュアル（案）」[5]を参考に設定する．θ_gは年齢階層による避難時間の違いなど避難可能性の観点から設定する．

5. 宮崎県宮崎市を対象とした実証モデルの構築

(1) 対象圏域・ゾーン区分および住宅タイプ区分

実証モデルの対象圏域は，宮崎市の市域のうち，2020 年時点で人口および供給可能面積が存在するメッシュとする．ゾーン区分については，すべて世界測地系 1km メッシュとする．ゾーン総数は 335 メッシュである．対象圏域とゾーン区分を図-2 に示す．

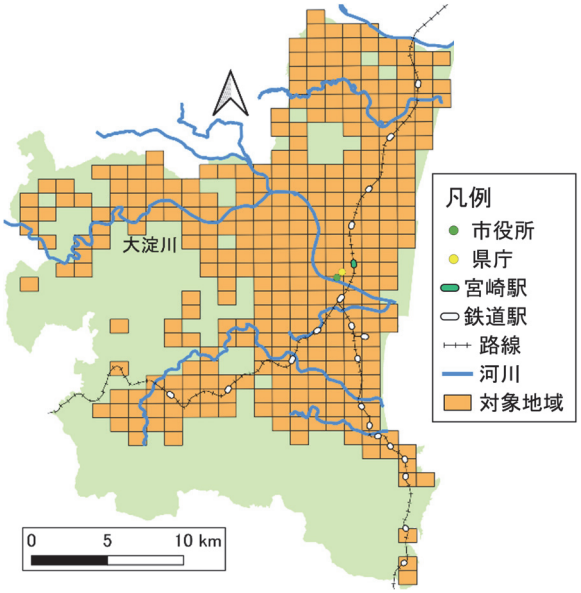


図-2 対象圏域とゾーン区分

(2)　現状分析

2020 年の国勢調査に基づく宮崎市内の人口分布と想定最大浸水深の分布をそれぞれ**図-3**，**図-4** に示す．

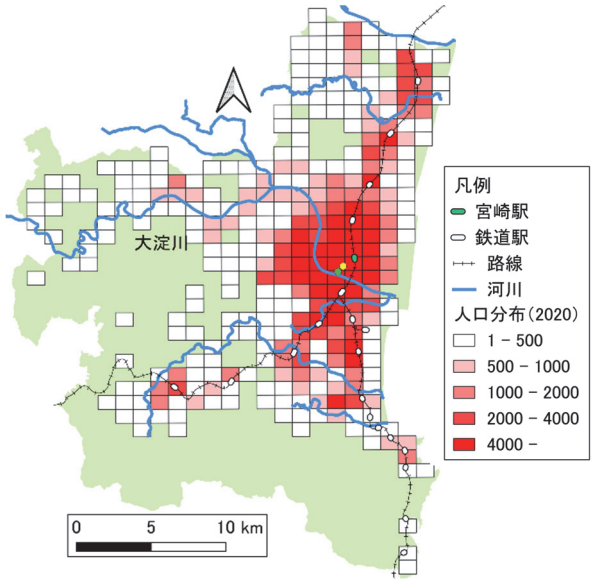


図-3　人口分布（2020 年）

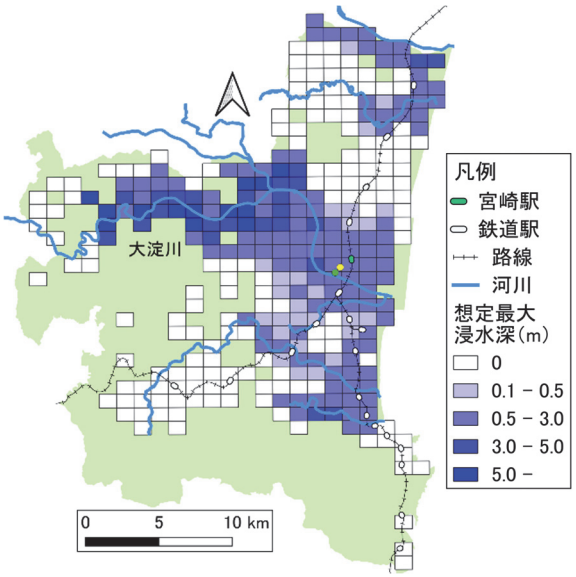


図-4　想定最大浸水深

図-3 から，宮崎駅を中心とした市街地で居住者が多いことがわかる．また，市街地から離れた郊外部においても，広範囲にわたって居住者が分布しており，一定程度人口集積が見られる地域も見られる．宮崎市は平成に入って 2 度の市町村合併により，4 町と合併している．郊外部の人口集積地は，主に旧町の中心部であると推察される．

想定最大浸水深については，一級河川である大淀川沿いが高くなっており，市内山間部では 5.0m を超える地域もある．居住者がある程度集積する地域でも最大 3.0m の浸水が想定されており，豪雨の際には甚大な被害をもたらす可能性がある．

(3)　転居先ゾーン選択要因

床賃料以外の転居先ゾーン選択要因，すなわち(2)式の床賃料以外の説明変数として，まず，研究目的から「洪水による想定最大浸水深」，既往研究を参考に「中心市街地までの距離」を選定した．さらに，2016 年に行われた宮崎市民アンケート調査における質問「あなたの日常生活について，その活動の重要度をお答えください」に対する回答を参考に，「食品スーパーまでの距離」，「町医者・クリニックまでの距離」を候補に加えた．

(4)　アンケート調査の実施

(2)式のパラメータを推定するため，宮崎市の住民に対してアンケート調査を実施した．

アンケート調査では，希望住宅タイプ別に 3 つの仮想的な転居先地域から最も望ましい 1 地域を選択する設問に 4 度回答していただいた．**表-1** に，3 つの仮想的な転居先地域を示したプロファイル調査票の例として，賃貸マンションの調査票（一部抜粋）を示す．調査票における各項目の水準は，宮崎市における実態（平均値，平均値±標準偏差 (1 σ)) を参考に 3 水準を設定し，L12 (3^5) 型直行表を使用して割り付けを行った．

調査では，上記に加え，個人属性 (年齢，世帯人数等)，転居意向（転居意思，希望住宅タイプ，水害施策導入時の転居意思の変化等）を併せて尋ねた．

調査は，Google Forms で実施し，民間 WEB 調査会社のモニタ登録者のうち，宮崎県宮崎市在住の世帯主に回答を依頼した．2023 年 7 月 27（木）～31（月）の間に 445 の回答を得ることができた．

表-1　賃貸マンションのプロファイル調査票（一部抜粋）

		(A)	(B)	(C)
食品スーパーまでの距離		0.6km	1.5km	6km
町医者・クリニックまでの距離		0.3km	0.9km	0.3km
中心市街地までの距離		4km	10km	18km
想定最大浸水深		1m	0m	2m
1ヶ月あたりの賃料	25㎡	4.5万円	5.5万円	3.5万円
	35㎡	5.0万円	6.0万円	4.0万円
	45㎡	5.5万円	6.5万円	4.5万円
	55㎡	6.0万円	7.0万円	5.0万円
	70㎡	8.0万円	9.0万円	7.0万円

(5) 効用関数のパラメータ推定

部分効用である(2)式のパラメータ推定は，アンケート調査の個票データを用い，最尤法（20%水準で非有意な変数を除いて推定を繰り返す減少法）により住宅タイプ別，年齢階層別に行った．ただし，サンプル数の不足等により有意な推定結果が得られなかった場合には，年齢階層を一部統合して推定することとした．各住宅タイプにおける推定時の年齢階層の区分を**表-2** に示す．

表-2 推定時の年齢階層の区分

戸建て		賃貸マンション・アパート		分譲マンション	
20歳未満	30代以下	20歳未満	20代以下	20歳未満	40代以下
20代		20代		20代	
30代		30代	30，40代	30代	
40代	40代	40代		40代	
50代	50-64歳	50代	50歳以上	50代	50-60代
60-64歳		60-64歳		60-64歳	
65-69歳	65歳以上	65-69歳		65-69歳	
70-74歳		70-74歳		70-74歳	70歳以上
75-79歳		75-79歳		75-79歳	
80歳以上		80歳以上		80歳以上	

また，推定結果の一例として，戸建て（持ち家）を希望した 30 代以下の推定結果を**表-3** に示す．

表-3 戸建て（持ち家）・30 代以下のパラメータ推定結果

説明変数		パラメータ	p値
道路距離（km）	LN（食品スーパー）	-0.4118	(3.80E-4**)
	町医者・クリニック	-0.2029	(-0.1209)
	中心市街地	-0.0795	(2.81E-5**)
LN（所得（万円））		0.1163	(0.0057**)
想定最大浸水深（m）		-0.2005	(-0.0999)
LN（床1㎡あたりの年間賃料（万円））		-0.3542	(-0.1166)

注）( )内はp値，**は1%有意，*は5%有意

(6) その他のパラメータ

(1)式の τ，(3)式の b，(6)式の σ については，2020 年時点の実態に合致するようにキャリブレーションを行い，b は世帯主年齢階層別，τ と σ は世帯主年齢階層別・ゾーン別に設定した．キャリブレーションに際しては，(1)～(6)式の各変数の 2020 年値（世帯主年齢階層別，ゾーン別）を収集・推計した．

(2)式の各種施設までの道路距離については，各ゾーンの重心からの直線距離に，森田ら[6]による道直比係数（宮崎市では 1.3038）を乗じて算出した．

(6)式の供給可能面積は，国土数値情報の土地利用細分メッシュにおける建物用地・田・その他農用地が住宅に転用可能な利用区分と仮定し抽出する．ただし，市街化区域以外のゾーンについては，今後，農地から住宅に転用されることがないと仮定し，建物用地のみを抽出した．

床賃料（1m^2 あたり）は，各ゾーンの 1m^2 あたり地価，宮崎市における各住宅タイプの土地面積，住宅床面積，住宅賃料の平均値から推計した．各ゾーンの 1m^2 あたり地価は，宮崎市の 2020 年の公示地価データより地価関数を推定し，推定結果と各ゾーンにおける各変数の水準から推計した．ただし，推計結果が公示地価データの最低地価（10,000 円）を下回る場合，最低地価に補正した．

(7) 地価関数の推定

地価関数の推定には，データの空間的な依存関係を考慮可能な空間ヘドニック・アプローチを用いた．具体的には，(10)～(12)式を推定し，現況再現性が高く，統計学的に有意なものを採用した．(10)式は通常の線形回帰モデル（BM），(11)式は空間ラグモデル（SLM），(12)式は空間エラーモデル（SEM）の式である．

$$\mathbf{y} = \mathbf{X\beta} + \boldsymbol{\varepsilon} \tag{10}$$

$$\mathbf{y} = \boldsymbol{\rho}\mathbf{W}\mathbf{y} + \mathbf{X\beta} + \boldsymbol{\varepsilon} \tag{11}$$

$$\mathbf{y} = \mathbf{X\beta} + \boldsymbol{\varepsilon}', \quad \boldsymbol{\varepsilon}' = \boldsymbol{\lambda}\mathbf{W}\boldsymbol{\varepsilon} + \boldsymbol{\mu} \tag{12}$$

ここで，$\mathbf{y}$ は n×1 の被説明変数ベクトル，$\mathbf{x}$ は n×1 の説明変数行列，$\boldsymbol{\beta}$ は n×1 のパラメータベクトル，$\boldsymbol{\varepsilon}$ は n×1 の誤差項ベクトル，$\boldsymbol{\varepsilon}'$ は n×1 の空間的自己相関のある誤差項ベクトル，$\mathbf{W}$ は n×1 の空間重み行列，$\boldsymbol{\mu}$ は n×1 の空間的自己相関のない誤差項ベクトル，$\boldsymbol{\lambda}$，$\boldsymbol{\rho}$ は空間パラメータを示す．

地域特性が異なることを考慮して住居系（用途地域が住居系の場合）と商業系（住居系以外の用途地域）の 2 つに分けて推計を行った．

推定結果を**表-4**，**表-5** に示す．住居系については空間ラグモデル（SLM），商業系については線形回帰モデル（BM）を採用した．ここで，「宮崎駅ダミー」は最寄り駅が JR 宮崎駅であること，「市街化ダミー」は市街化区域に指定されていること，「商業ダミー」は用途地域が商業・近隣商業に指定されていることを示すダミー変数であり，該当する場合 1，該当しない場合 0 とした．

表-4 地価関数推定結果（住居系）

変数名	パラメータ	p値
宮崎駅ダミー	1.71E-01	(5.864E-3**)
最寄り駅までの距離（m）	-3.06E-05	(1.205E-2**)
市街化ダミー	5.60E-01	(2.2E-16**)
定数項	3.92E+00	(2.355E-8**)
空間パラメータ ρ	5.94E-01	(1.987E-14**)
AIC	40.843	
サンプル数	123	

注）( )内はp値，**は1%有意，*は5%有意

表-5　地価関数推定結果（商業系）

変数名	パラメータ	p値
宮崎駅ダミー	7.10E-01	(1.210E-7**)
最寄り駅までの距離（m）	-8.36E-05	(1.300E-4**)
容積率	1.88E-03	(9.190E-5**)
市街化ダミー	6.79E-01	(1.530E-3**)
商業系ダミー	6.80E-01	(2.780E-5**)
定数項	9.09E+00	(2.000E-16**)
サンプル数	32	
決定係数	0.9086	

注）（ ）内はp値，**は1%有意，*は5%有意

6.　水害リスク軽減施策による影響分析

(1)　概要

ここでは，2020 年以降に水害リスク軽減施策を実施した場合の将来の都市内人口分布および水害リスク分布に及ぼす影響を分析する．施策導入地域は，立地適正化計画の居住誘導区域内かつ想定最大浸水深が「3.0m 未満」のゾーンとする．施策導入地域を**図-5** に示す．

水害リスク軽減施策として，浸水深を低減するハード施策，導入地域に転居する世帯に補助金を給付するソフト施策を実施することとする．ここでは，ハード施策の場合，導入地域の想定最大浸水深が 0m となることを仮定する．ソフト施策については，導入地域に転居した世帯は補助金分の可処分所得が増加することを仮定する．補助金の給付額については，富山市の「まちなか居住推進事業 [7]」と深川市の「まちなか居住推進助成事業 [8]」を参考に設定する．本研究で分析する具体的な施策 1～5 の内容を**表-6** に示す．

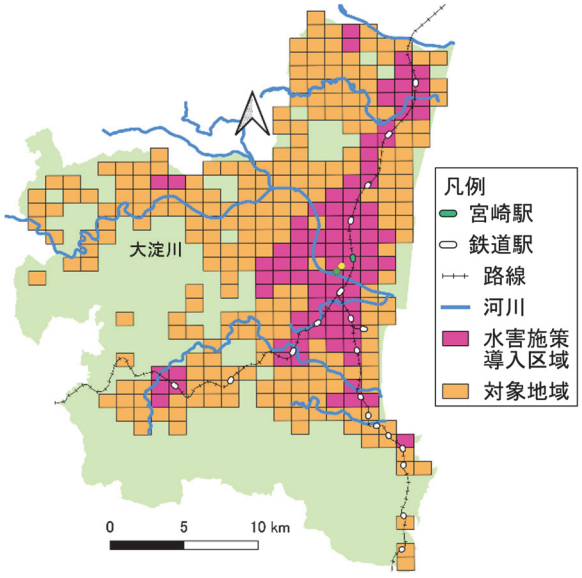


図-5　水害施策導入範囲

表-6　施策の設定

	ソフト施策	ハード施策
施策1	補助金:50万円	-
施策2	補助金:300万円	-
施策3	-	浸水深0m
施策4	補助金:50万円	浸水深0m
施策5	補助金:300万円	浸水深0m

(2)　人口分布推計モデルの各変数の将来値の設定

パラメータ設定された都市内人口分布推計モデルを用いて，将来の時系列の人口分布推計を行うためには，内生的に求められる立地量，床賃料を除く変数の将来値を設定する必要がある．ここでは，各変数とも 2020 年から変化がないと仮定し，将来値は 2020 年値に固定する．ただし，供給可能面積については，人口増減を考慮して将来値を設定する．

転居意思のある世帯数については，施策導入の有無による転居率の変化を考慮するため，アンケート調査結果における施策別転居意思の変化を用いて設定する．**表-7** に施策別の市内転居率を示す．施策前と比較して施策 1～5 では，転居率が増加していることが見て取れる．

表-7　年齢階層別 5 年間市内転居率

戸建て						
年齢階層	施策前	施策1	施策2	施策3	施策4	施策5
30代以下	17.65%	17.65%	25.49%	21.57%	23.53%	23.53%
40代	10.20%	12.24%	16.33%	16.33%	16.33%	20.41%
50-64歳	6.17%	7.41%	13.58%	8.64%	8.64%	12.35%
65歳以上	3.13%	9.38%	9.38%	6.25%	6.25%	6.25%
賃貸マンション・アパート						
年齢階層	施策前	施策1	施策2	施策3	施策4	施策5
20代以下	22.86%	22.86%	31.43%	22.86%	25.71%	31.43%
30，40代	8.11%	21.62%	28.38%	20.27%	24.32%	27.03%
50歳以上	7.02%	10.53%	26.32%	8.77%	10.53%	19.30%
分譲マンション						
年齢階層	施策前	施策1	施策2	施策3	施策4	施策5
40代以下	20.00%	40.00%	60.00%	46.67%	53.33%	66.67%
50，60代	5.26%	7.89%	23.68%	10.53%	10.53%	18.42%
70歳以上	0.00%	12.50%	12.50%	12.50%	12.50%	12.50%

(3)　水害リスク指標の重み付けパラメータの設定

(9)式の重み付けパラメータの設定を行う．浸水深別重み付けパラメータθ_{FD}は，国土交通省水管理・国土保全局の「治水経済調査マニュアル（案）」[5]に記載されている「家屋被害」の「浸水深別被害率」を参考に，**表-8** のように設定した．住宅タイプ別重み付けパラメータθ_hは，「治水経済調査マニュアル（案）」[5]に記載されている「家屋資産額」の「家屋資産額補正」を参考に，**表-9** のように設定した．年齢階層別重み付けパラメータθ_gは，消防庁の「津波避難対策推進マニュアル検討会報告書」[9]に記載されている北海道南西沖地震（平成 5 年）津波時の年齢階層別平均避難速度を参考に設定する．具体的には，平均速度の逆数を取り，年齢階層を組み合わせるため重

みづけ平均を用いて設定した．**表-10** に北海道南西沖地震（平成 5 年）津波時の年齢階層別平均避難速度を示す．

表-8　浸水深別重み付けパラメータ

想定最大浸水深	0m	0.25m	1.75m	4.0m	7.5m
パラメータ	0.000	0.058	0.468	0.843	0.843

表-9　住宅タイプ別重み付けパラメータ

住宅タイプ	戸建て	マンション	アパート
パラメータ	1.0	平均階層(f)が3階未満の場合	
		1.0	
		平均階層(f)が3階以上の場合	
		2/f	

表-10　年齢階層別平均避難速度（北海道南西沖地震）

年齢階層	20-29歳	30-39歳	40-49歳	50-59歳	60歳以上
秒速(m/s)	0.87	1.47	1.03	0.68	0.58

(4)　シミュレーション結果

分析結果は，当日発表するとし，ここでは省略する．

7.　まとめ

本研究では，住宅タイプ・年齢階層別の都市内人口分布の将来時系列推計が可能な立地均衡型都市モデルを構築した．また，住宅タイプ・年齢階層別，浸水深別のリスクの違いを考慮した水害リスク指標の提案を行った．

さらに，豪雨による水害リスクの高い宮崎市を対象に実証モデルを構築し，水害リスク軽減施策が都市内人口分布，水害リスク分布に及ぼす影響を分析した．分析では，立地適正化計画の居住誘導区域内かつ想定最大浸水深が「3.0m 未満」のゾーンを水害リスク低減施策導入地域とした．水害リスク軽減施策としては，浸水深を低減させるハード施策，居住誘導区域かつ浸水深が小さい地域への転居世帯に補助金を給付するソフト施策を検討した．

立地均衡型都市モデルにおける転居先地域選択の部分効用関数の推定では，住宅タイプと年齢階層の組み合わせにより異なるパラメータ値が得られた．これによって，住宅タイプ・年齢階層別の転居行動の違いを表現できたと考えられる．また，住宅タイプ・年齢階層による水害リスク違いを表現できるようになった．

水害リスク指標で用いた重み付けパラメータは，既存の調査結果やマニュアルを参考に設定した．浸水深別重み付けパラメータと住宅タイプ別重み付けパラメータは家屋被害といった「資産視点」，年齢階層別重み付けパラメータは避難速度といった「身体的視点」から設定しており，と水害リスク指標全体で見れば多角的にリスクを捉えられていると言える．しかし，それぞれのパラメータは一視点のみからの設定にとどまっており，各パラメータでの多角的視点の考慮は今後の課題である．

謝辞：本稿は，JSPS 科研費（JP20K04724）の助成を受けて実施した研究成果の一部である．ここに記して謝意を表す．

参考文献

1) 大楽浩司・山形与志樹・平野淳平・瀬谷創（2015）：東京都市圏の水災害リスクと不動産への影響，日本不動産学会誌，Vol.29，No.1，pp.40-45
2) 松川寿也（2023）：居住誘導浸水想定区域での市街地評価技術の確立とリスク対策事業の導入に関する研究，「第 10 回流域管理と地域計画の連携方策に関するワークショップ」，第 2 部
3) 寺本雅子・市川温・立川康人・椎葉充晴（2010）：水災害危険度に基づく土地利用規制の費用便益評価－世帯所得の分布を考慮して－，土木学会論文集 B，Vol.66，No.2，pp.119-129
4) 今井一貴・佐藤徹治・神永希・杉本達哉・高森秀司(2016)：ソフト施策による水害リスク軽減対策が将来の都市内人口分布に与える影響分析，土木学会論文集 D3，Vol.72，No.5，pp.423-434
5) 国土交通省，水管理・国土保全局（2020）：治水経済調査マニュアル（案）
6) 森田匡俊・鈴木克哉・奥貫圭一（2014）：日本の主要都市における直線距離と道路距離との比に関する実証的研究，GIS－理論と応用，Vol.22，No.1，pp.1-7
7) 富山市，活力都市創造部，居住対策課，居住誘導係，富山市まちなか居住推進事業
8) 深川市，建築水道部，建築住宅課，建築係，令和 5 年度まちなか居住推進助成事業
9) 消防庁国民保護・防災部防災課：津波避難対策推進マニュアル検討会報告書，p24，2013
10) 唐渡広志（2007）：地価関数の推定と空間的自己相関の検出，土地総合研究（季刊），Vol.15，No.4，pp.3-13
11) 堤盛人・瀬谷創（2010）：便益計測への空間ヘドニック・アプローチの適用，土木学会論文集 D，Vol.66，No.2，pp.178-196
12) 総務省統計局（https://www.stat.go.jp/data/jinsui/index.html）（最終閲覧：2023 年 9 月 22 日）
13) 国立社会保障・人口問題研究所（2017）：日本の将来推計人口　平成 29 年推計、人口問題研究資料、No.336