

# 水害リスク軽減対策評価のための都市内人口分布推計モデル

Estimation model of population distribution in a city to evaluate flood risk mitigation policies

佐藤徹治研究室 1474005 今井一貴

## 1. はじめに

近年、気候変動等を背景として、大雨の発生回数が増加傾向にあり、水害リスクへの対応の重要性が増加している。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。代表的なソフト施策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、2016年1月1日現在で1,310<sup>1)</sup>と一定の水準に達している。

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スマートシュリンクの必要性が高まっている。スマートシュリンクの方向性としては、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ている。しかしわが国の多くの都市では、古来物資や人を輸送する手段として河川や海を使用してきたこともあり、河川区域周辺や沿岸部に市街地が形成され、自然災害に対して脆弱なケースが多い。このため今後コンパクトシティを形成していくためには自然災害リスクの低減化の視点も重要である。

そこで本研究では、自然災害リスクのうち水害リスクに着目し、水害対策やコンパクトシティ化に向けての土地利用施策等が将来の人口分布に及ぼす影響を評価可能なモデルを構築する。また、構築したモデルを富山県富山市に適用し、将来の人口分布推計を行うとともに、土地利用施策等のソフトな水害リスク軽減対策が、人口分布に及ぼす影響を分析することを目的とする。

## 2. 理論モデル体系の検討

### 2.1 概要

本研究における提案モデルは、応用都市経済（CUE）モデルをベースとしている。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<sup>2)</sup>や、高木ら<sup>3)</sup>等によって構築されてきている。既存モデルと比較しての本研究のモデルの特徴として、各年における転居意思ありの世帯のみについて住居タイプ別に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点が挙げられる。

$t$ 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  $t+5$ 年の世帯分布を出力する体系とする。出力された世帯分布を、自然増減および市内外への転入転出を考慮し、再びモデルに入力すると  $t+10$ 年の世帯分布が算出され、これを繰り返す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。本研究のモデルのフローを図-1に示す。

### 2.2 モデル体系

転居行動に関しては、転居先の住居タイプの想定がある程度可能であると考えられる。ここでは、実態データに基づき、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。

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。各世帯の効用水準、転居先地域の選択確率を(1)~(2)式に示す。

$$P_j^s = \frac{\exp(V_j^s + \tau_j^s)}{\sum_s \exp(V_j^s + \tau_j^s)} \quad (1)$$

$$V_j^s = f(R_j^s, Z1^s, Z2^s, \dots, Z_n^s, FR_j^s) \quad (2)$$

ここで、 $V$ は部分効用水準、 $\tau$ は部分効用以外の要因を表す。 $P_j^s$ は住居タイプ  $j$  への転居を希望する世帯のゾーン  $s$  の選択確率を表す。 $R$ は地価または家賃、 $Z_n$ は  $n$  番目の住環境評価項目である。 $FR$ は水害リスク指標である。

各ゾーンの住宅地（集合住宅の場合は住宅床）の需要

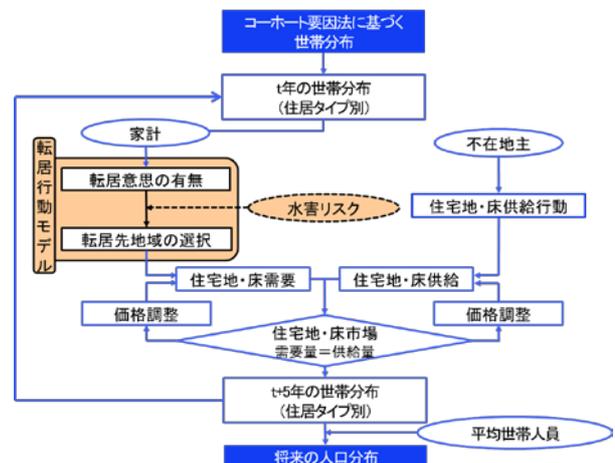


図-1 モデルのフロー

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(3)式、 $t$ 年の世帯数を(4)式に示す。

$$Q_{j,t}^s = l_j^s \sum_r N_{j,t-5}^{*r} P_j^s \quad (3)$$

$$N_{j,t}^s = N_{j,t-5}^s - N_{j,t-5}^{*s} + \sum_r N_{j,t-5}^{*r} P_j^s \quad (4)$$

ここで $r, s$ はゾーン、 $Q$ 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。

不在地主の住宅地または住宅床供給行動については一般的なCUEモデル(例えば2)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(5)式に示す。

$$L_{j,t}^s = \left(1 - \frac{\delta_j^s}{R_{j,t}^s}\right) Y_{j,t}^s \quad (5)$$

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

住宅地・住宅床市場では、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て均衡し、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(6)式に示す。

$$L_{j,t}^s(R_{j,t}^s) = Q_{j,t}^s(R_{j,t}^s) \quad (6)$$

### 3. 実証モデルの構築

#### 3.1 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・単位地域および想定最大浸水深を図-2に示す。

#### 3.2 モデルのパラメータ推定方法

(2)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。

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を目的とし、プレアンケート調査を実施する。

#### 3.3 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。調査項目を表-1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。

#### 3.4 プロファイルアンケート調査

プロファイルアンケート調査は、プレアンケート調査において希望割合の高かった住居タイプを対象に、集合住宅は30㎡向け（39㎡未満）・50㎡向け（59㎡未満）・70㎡向け（79㎡未満）・90㎡向け（80㎡以上）別に作成する。調査では3つの転居先候補地域のうちもっとも望ましい地域を選択してもらう質問を4回繰り返すもの

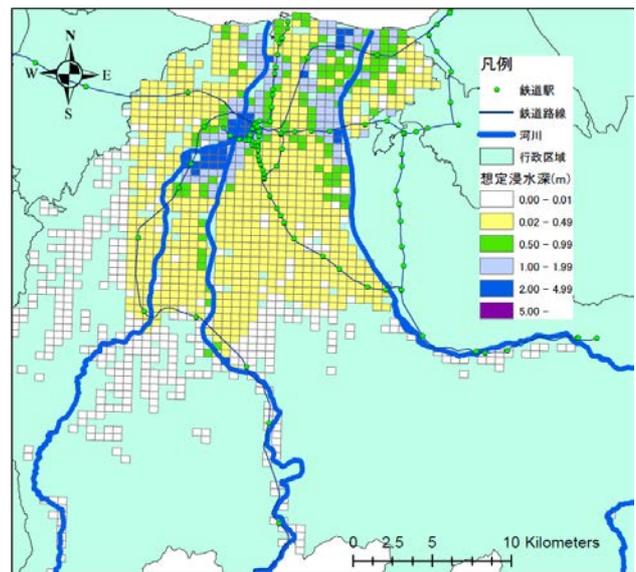


図-2 対象圏域と単位地域と浸水深

表-1 プレアンケート調査項目

調査項目	
<b>1. 世帯属性</b>	
・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	
<b>2. 転居の意向</b>	
・転居の意思	
・転居先の住居タイプ	
・転居先の土地、床面積	
<b>3. 転居の際の各項目の重視度</b>	
・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現在の居住地からの近さ
⑧インターチェンジまでの近さ	⑳美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・家賃の低廉さ
⑫総合スーパー・大型商業施設までの近さ	㉔除雪の頻度

とする。

プロフィールにおける評価項目については、プレアンケート調査結果における転居の際の重視項目から項目間での相関関係を考慮して、戸建のプロフィールについては地価または家賃、最寄り駅（LRTの駅を含む）までの所要時間、食品スーパーまでの所要時間、子どもの小学校までの所要時間、想定最大浸水深の5項目とする。集合住宅賃貸については地価または家賃、最寄り駅（LRTの駅を含む）までの所要時間、食品スーパーまでの所要時間、町医者・クリニックまでの所要時間、想定最大浸水深の5項目とする。各評価項目の水準は、実態データやプレアンケート調査における許容目安の回答結果に基づき3水準設定し、L12(3<sup>5</sup>)型の直交表に割り付けてプロフィールを作成する。

調査は、2015年10月24日～27日にプレアンケート調査と同様に民間リサーチ企業に依頼してWEB調査で実施し、有効回答数は600であった。

### 3.5 効用関数のパラメータ推定

家計の部分効用関数(2)式は、プロフィールアンケート調査の評価項目を用いて(7)式のとおり特定化できる。

$$V_j^s = a_j \cdot \ln(R_j^s) + b_j \cdot \ln(S^s) + c_j \cdot \ln(T^s) + d_j \cdot \ln(C^s) + e_j \cdot \ln(\bar{H} - H^s) \quad (7)$$

ここで、 $R$  は地価または家賃、 $S$  は食品スーパーまでの所要時間、 $T$  は鉄道駅までの所要時間である。 $C$  は住居タイプによって異なり、戸建の場合小学校までの所要時間、集合住宅の場合町医者・クリニックまでの所要時間である。 $\bar{H}$  は効用関数の序列を整合化する定数であり、高木ら<sup>3)</sup>を参考に10に設定する。 $H$  は想定最大浸水深である。 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ 、 $e$  はパラメータであり、 $e$  は水害リスクに対する認知によって変化するパラメータであると仮定している。

効用関数のパラメータ推定結果（有効なサンプルが得られた戸建、集合住宅の50m<sup>2</sup>、70m<sup>2</sup>）を表-2に示す。

## 4. 施策オプションが人口分布に及ぼす影響

### 4.1 施策オプションの考え方

前章における洪水HMを踏まえた転居行動のモデル化による将来推計を基本ケースとし、3つの施策オプションを与えた場合の将来人口分布の変化を分析する。3つの施策オプションの概要を表-3に示す。

### 4.2 誘導オプションによる人口分布の変化

富山市都市マスタープランにおける「都心」および「地域生活拠点」とされる範囲、また基本ケースの結果で、2040年時において人口集中地区を有する範囲を誘導範囲に設定する。モデル上では誘導範囲に転居する世帯に対して地価・家賃を助成することとする。助成金の設定にあたっては、富山市による「まちなか居住推進事業」を参考とし、都心地域は、戸建の場合1257.07(円/m<sup>2</sup>)、集合住宅の場合1(万円/月)を地価・家賃の負担から減

表-2 パラメータ推定結果

	戸建			集合住宅(50m <sup>2</sup> )			集合住宅(70m <sup>2</sup> )		
	係数	t値	p値	係数	t値	p値	係数	t値	p値
地価(万円)	-0.68	-5.76	0.00	-	-	-	-	-	-
家賃(万円)	-	-	-	-5.80	-4.91	0.00	-4.35	-2.73	0.01
食品スーパー	-0.52	-7.16	0.00	-0.64	-2.93	0.00	-1.19	-3.98	0.00
鉄道駅	-0.79	-9.99	0.00	-0.58	-1.99	0.05	-0.87	-2.16	0.03
小学校	-0.71	-9.09	0.00	-	-	-	-	-	-
町医者	-	-	-	-0.80	-3.53	0.00	-0.78	-2.42	0.02
想定最大浸水深(m)	5.19	14.63	0.00	6.71	3.84	0.00	5.39	2.91	0.00
N	1516			188			96		
対数尤度	-1335.06			-163.34			-80.72		

表-3 施策オプション概要

施策オプション	内容
基本ケース	・特段のシナリオ等を設定しないケース、各オプションの比較対象
①誘導オプション(富山市施策)	・移転に伴う費用の助成を想定 ・モデル上では、地価・家賃への助成により対応
②規制オプション(水害リスク軽減対策)	・逆線引きによる、「建物の建替、更新の不許可」を想定 ・モデル上では転居先としての住宅地、床の供給行動の制限により対応
③認知オプション(水害リスク軽減対策)	・「出前講座や防災訓練等の情報提供」等を想定 ・モデル上では、プロフィールアンケート調査結果において従来より災害リスクへの理解・興味が高いと考えられる層を対象とした効用関数のパラメータ再推定により対応

じ、地域生活拠点では戸建について754.26(円/m<sup>2</sup>)減じることとする。推計結果(2040年/2010年)を図-4に示す。富山駅周辺地域の減少率は他地域と比較して相対的に小さく-10%未満となる地域が多い。

### 4.3 規制オプションによる人口分布の変化

富山市都市マスタープランを参考とし、公共交通の活性化による人口分布の高密度化する方向性から、その変化(縮退)範囲を規制範囲として設定する。モデル上では(5)式の供給可能面積 $Y$ を0とすることにより対応する。規制オプションによる人口分布の変化(2040年/2010年)を図-5に示す。規制範囲に該当するメッシュで人口が大きく減少する傾向がある一方、規制範囲の外側での増加傾向が見られる。規制オプションには規制範囲の人口を減少させ、中心部の減少傾向を緩やかにする効果があると考えられる。

### 4.4 認知オプションによる人口分布の変化

プロフィールアンケート調査において「洪水HMを見たことがある」と回答した291人の回答データを対象に新たに効用関数のパラメータ推定を行いその結果を用いて将来人口推計を行う。推計結果(2040年/2010年)を図-6に示す。水害リスクが低く、富山駅から離れた郊外の鉄道駅周辺で人口が増加する傾向が読みとれる。

### 4.5 施策オプションの比較

各施策オプションによる2040年の人口比較結果(各施策オプションケース-基本ケース)について浸水深別に集計したものを表-4、都心、地域生活拠点に該当するメッシュで集計したものを表-5に示す。

表-4では、規制オプションと認知オプションによって浸水深が高い地域の人口が減少することが示されており、水害リスク対策としての規制・認知オプションの有効性が示唆される。なお、認知オプションでは浸水深0.5m以上など水害リスクが比較的小さい地域での減少が顕著となる一方、規制オプションでは浸水深2.0m以上のような水害リスクが高い地域で減少幅が大きくなっ

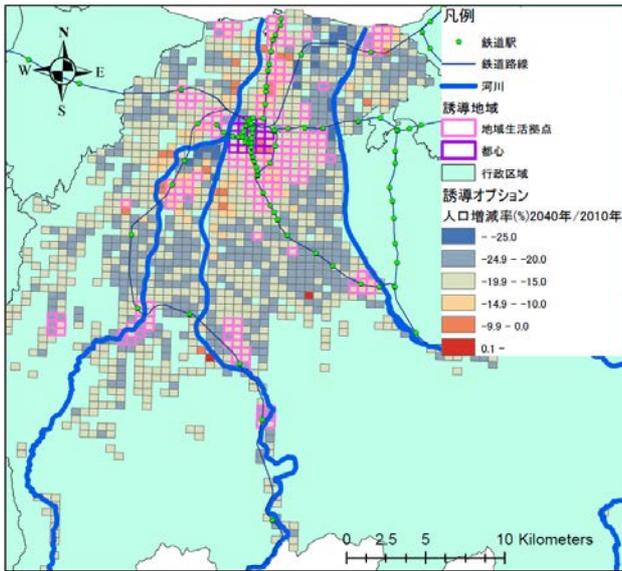


図-4 誘導オプション推計結果 (2040年/2010年)

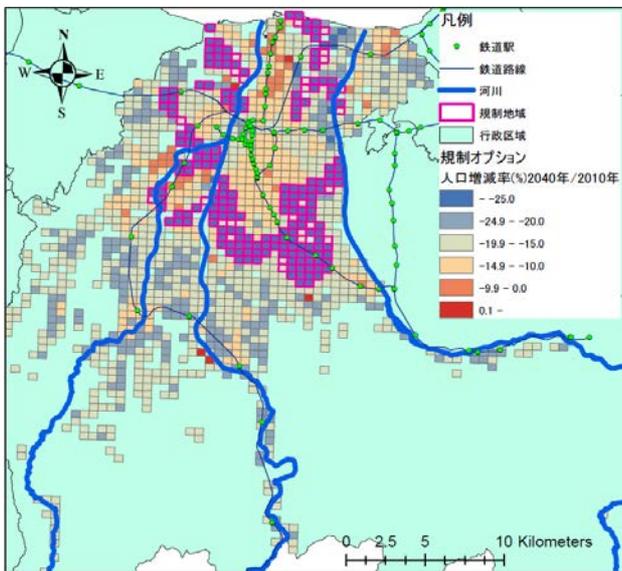


図-5 規制オプション推計結果 (2040年/2010年)

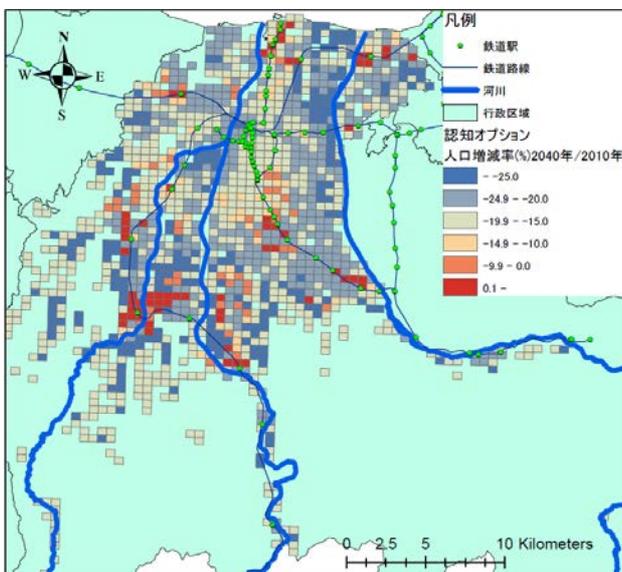


図-6 認知オプション推計結果 (2040年/2010年)

表-4 2040年の浸水深別の人口比較

(対基本ケース) 単位:人	浸水深			
	0.5m以上	1.0m以上	1.5m以上	2.0m以上
誘導オプション	60	96	91	15
規制オプション	-171	-130	-399	-528
認知オプション	-3,640	-2,493	-1,381	-531

表-5 2040年の都心・地域生活拠点の人口比較

(対基本ケース) 単位:人	都心メッシュ	地域生活拠点 メッシュ	地域生活拠点 +都心メッシュ
誘導オプション	882	-357	525
規制オプション	476	3,006	3,483
認知オプション	-472	1,108	636

ている。一方、誘導オプションでは水害リスクが高い地域で人口が増加する傾向となった。原因としては、誘導地域である都心部の浸水深が高いことが考えられる。

表-5では、各オプションケースとも都心と地域生活拠点メッシュの合計では人口が増加していることが読みとれる。ただし、誘導オプションは郊外部である地域生活拠点、認知オプションは都心地域の人口を減少させる結果となっている。

## 5. まとめ

本研究では都市内における水害リスクを考慮した将来時系列の人口分布を推計可能なモデルとその実証分析の方法を提案し、富山県富山市を対象に実証モデルを構築して各施策オプションが将来の人口分布に及ぼす影響について試算を行った。試算の結果、規制オプションが水害リスク・コンパクトシティの両視点から見て有効な施策であることが示唆された。本研究のモデルを用いて、堤防整備などのハードの水害対策、土地利用の規制・誘導等の都市計画施策、これらの組み合わせが将来の人口分布に及ぼす影響を分析することが可能であり、人口減少下における河川行政と都市行政が連携した今後の望ましい都市のあり方の検討への活用が期待される。

本研究では住居タイプ別の転居行動を考慮した分析を行ったが、実際は年齢によって転居する住居タイプは異なると考えられる。これを考慮した分析は今後の課題である。

## 参考文献

- 1) 国土交通省, ハザードマップポータルサイト, <http://disaportal.gsi.go.jp/>. (最終閲覧 2016年1月1日)
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) 今井一貴, 佐藤徹治: 水害リスクを考慮した土地利用施策評価のための将来時系列の人口分布推計モデルの開発, 都市計画論文集, Vol.50, pp.656-662, 2015