

鉄道を軸とした都市における災害リスクとの共生を 考慮した環境負荷シミュレーション

【2020年度 KR-072】

高知大学 教育研究部自然科学系理工学部門

講師 坂本 淳

1. はじめに

東日本大震災以降、全国の津波災害リスクが高い都市において津波防災対策が行われている。対策の実現によって津波災害リスクが減少し、人々の居住地選択が利便性の高い場所へ回帰する可能性も考えられる。津波防災対策事業を一層進めるためには、その必要性・有効性等を評価・提示することが重要である。仮に事業の実施が、自動車に頼らない環境負荷の低い都市の実現に寄与するのであれば、評価項目に含めるべきである。

そこで本研究は、津波防災対策の実現が環境負荷の低減に及ぼす影響を明らかにする。中心市街地の大部分が津波浸水想定区域となる地方中核都市の高知市をケーススタディ地域として、まず住民に対してアンケート調査を実施し、将来の居住地選好に関する回答結果からモデルを開発する。次に、そのモデルを用いて津波防災対策の実施有無別の将来の人口分布の推計を行う。さらに、対策実施有無別のCO₂排出量を推計した結果を比較する。

2. 研究方法

(1) アンケート調査

居住選択モデルの開発とパラメータ推定のためのデータ収集を目的としたアンケート調査を行う。高知市を研究対象地域として配布した調査の概要を以下に述べる。

質問項目については、「①将来の転居意向（今後の引越し予定有無）」、「②居住選択意識」である。①については2項選択で回答してもらっており、後述のモデル開発のサンプルには、転居意向ありの者のみの結果を用いる。②については、小サンプルによ

るプレ調査の結果を参考とし、直交表によって作成した16パターンのプロファイルのそれぞれについて、「住みたい～住みたくない」の5段階評価方式にて回答してもらった。

(2) 居住選択モデルの開発・パラメータ推定

居住選択モデルは従属変数の回答方法（「住みたい～住みたくない」の5段階評価方式）から、オーダー・ロジットモデルで構築し、住みたい度合いを交通利便性と津波災害リスクから評価するものである。

設定する変数について、従属変数は、16パターンのプロファイルのそれぞれの回答結果を、順序尺度「0：住みたくない、1：あまり住みたくない、2：どちらともいえない、3：やや住みたい、4：住みたい」で数量化した結果である。独立変数は、はりまや橋までの所要時間（車）、最寄り駅までの所要時間（徒歩）、津波浸水想定、居住形態とする。推定されたパラメータを用いたモデルに各プロファイルの値を代入すれば、「住みたい～住みたくない」それぞれの確率が算出され、ここから居住選択確率を算出する。

(3) 津波防災対策シナリオの検討

津波防災対策の実施が後述する各メッシュの津波浸水想定に及ぼす影響を検討する。すなわちここで想定している対策はハード対策（対策の実施により津波浸水想定深が軽減、面積が減少）である。高知港における地震津波防護の対策検討会議によると、前述した三重防護による対策の実施で浸水面積が大きく減少するとしている。本研究では、当該ハード対策の実施を「津波防災対策シナリオ」とし、津波シミュレーションの結果が公表されている「発生頻

度の高い津波」について、津波防災対策の実施有無別の津波浸水想定を整理する。

(4) 将来の人口分布の推計

将来（2030、2040、2050年）の人口分布を津波防災対策の実施有無別に推計する。推計方法を以下に述べる。

2030年の人口分布では、まず、既に整理した2030年の世帯構成別世帯数のデータを用いて、メッシュ別・世帯構成別に転居意向率を乗じて転居意向世帯数を求め、当該メッシュからその値を差し引く。次に転居先メッシュを決定する。候補となる「世帯数の上限以下」のメッシュを対象として、転居先の不確実性を考慮し、各メッシュの居住選択確率に乱数を乗じた値が最大値となるものの世帯構成に「世帯構成別の転居意向世帯数」を加える。次に、この計算を777（メッシュ数）×2区分の世帯構成の回数分繰り返して算出した「メッシュ別世帯構成別世帯数」を100パターン算出し、その平均値をとったものを世帯分布とする。100パターンの意味は前項で述べた通りである。最後に、メッシュ別・世帯構成別に整理された世帯数に、前項（キャリアレーション）で算出したメッシュ別・世帯構成別の比率を乗じて、合計の世帯数に合致するように世帯数を割り振り、人口と世帯数の割合を用いて、世帯を人口に変換する。

2040年の人口分布については、まず、先に算出した2030年のメッシュ別・世帯構成別世帯数の分布を用いて、2040年世帯数に合致するように世帯数を割り振る。つまり、将来の世帯数の減少率は各メッシュで一律と仮定している。次に、このデータを用いて、上記と同様の手順で世帯数を推計し、前項（キャリアレーション）で算出したメッシュ別・世帯構成別の比率を乗じて、合計の世帯数に合致するように世帯数を割り振る。最後に、人口と世帯数の割合を用いて、人口に変換する。2050年については2040年と同様である。

(5) CO2 排出量の推計

以上の手順で計算した津波防災対策実施有無別の2030、2040、2050年の将来推計人口分布を用いて、環境省が公表している市町村別運輸部門（自動車）CO2 排出量推計データ（高知市）と計算方法を参考としてCO2 排出量を推計し、対策実施有無で

比較することで、津波防災対策の実現が環境負荷の低減にもたらす効果を評価する。

まず500mメッシュ別自動車保有台数を算出するが、これは例えば2030年であれば、メッシュ毎の推計人口に自動車分担率を乗じることで、自動車保有台数を算出する。これを、高知市の運輸部門（自動車）CO2 排出量推計データを用いて、運行率（%）、運行台数あたりトリップ数（Trip/台）、人口あたりトリップ数（Trip/人）トリップあたり距離（km/Trip）、排出係数（g-CO2/km）の値（全メッシュ一律の値）を代入し、パラメータを乗じて年間排出量（t-CO2/year）を算出する。ここでパラメータとは、市町村別運輸部門（自動車）CO2 排出量推計データ（高知市）で示されている自動車保有台数と、前述のキャリアレーションの項で算出したメッシュ別人口に自動車分担率を乗じて求めた自動車保有台数の比率とする。

3. 結果

(1) アンケート調査

アンケート調査票は1,081部回収し（配布回収率：22%）、本研究の質問に回答している者は938部であった。回収部数と大きな乖離（1,081部に対して938部）があった理由としては、「居住選択意識」の質問が一部の回答者にとってわかりづらかったためである（アンケート調査票の自由意見から把握）。このうち、本研究で用いる「転居意向あり」は124部（回収部数の11%）であり、年齢別転居意向率の集計結果（表-1）を見てもわかるように、熟年層となるにしたがって転居意向率は低下する傾向にある。その他、性別では男性が41%、女性が59%であった。

表1 年齢別転居意向率

区分	回答者年齢	①転居意向なし	②転居意向あり	③合計	転居意向率 (②/③)	
非 高 齢	20代以下	28	42	70	60%	
	30代	117	29	146	20%	
	40代	185	21	206	10%	16%
	50代	204	20	224	9%	
	60～64歳	101	6	107	6%	
高 齢	65歳～74歳	197	6	203	3%	2%
	75歳以上	106	0	106	0%	
合計		938	124	1,062		

(2) 居住選択モデルの開発・パラメータ推定

居住選択モデルによりパラメータ推定を行った結果を表-2に示す。自由度調整済み尤度比は0.112と高くはないが、3項目の独立変数のt値が1%有意となった。有意となった各変数のパラメータの符号に注意しながら考察すると、はりまや橋、最寄り駅までの所要時間が短いほど、津波による浸水リスクが低いほど、居住地として選択されやすい傾向にあると解釈できる。

表2 居住選択モデルによるパラメータ推定結果

変数	パラメータ	標準誤差	t値
はりまや橋までの所要時間(車)	-0.223	0.397	-5.62**
最寄り駅までの所要時間(徒歩)	-0.289	0.040	-7.24**
津波浸水想定	-1.008	0.045	-22.48**
居住形態	-0.096	0.088	-1.10
第1の閾値	-2.909		
第2の閾値	-2.085		
第3の閾値	-1.146		
第4の閾値	0.011		
サンプルサイズ	1872(=117×16)		
自由度調整済み尤度比	0.112		

**1%有意

(3) 将来の人口分布の推計

津波防災対策の実施有無別に人口分布の増減を示したものを図-1に示す。以下、対策有無で比較する。

津波防災対策がない場合(図中左)は、将来の人口減少に伴って、はりまや橋を中心とした人口が集中している中心市街地で減少が目立っている(図中

の青色のメッシュ)。一方、津波防災対策がある場合(図中右)は、市内の総人口が減少する中で、中心市街地やその付近の鉄道沿線の人口が増加している(図中の赤色のメッシュ)。この背景には、津波防災対策の実施と世帯数の上限がある。具体的には、津波防災対策の実施で中心市街地が浸水想定区域外となり、当該地域の居住選択確率が高くなっている。また、中心市街地は「用途地域別の建ぺい率・容積率」を考慮した「供給面積」が大きいため、移転を希望する人口を受け入れる容量が確保されているということである。

(4) CO2 排出量の推計

CO2 排出量を津波防災対策の実施有無で比較した結果を表-3に示す。表中の「削減率」は、対策の実施によりCO2 排出量が削減された割合(=1-対策有りの結果/対策無しの結果)を示している。なお、将来の転居意向の不確実性を反映するため、表中には転居意向の割合を減じた値も掲載している。

表より、転居意向率をそのまま用いて計算した場合(100%)におけるCO2 排出量の削減率は、10年毎に3~4%拡大し、2050年には年間11%となった。また、転居意向率を一定の割合で減少させても(50%、75%の転居意向率)、少なからず削減されていることがあわせて確認できた。この削減効果が大きいといえるかどうかは議論の余地があるが、ハード対策によって津波浸水リスクを低下させることで、都市の環境負荷に及ぼす影響が低減されれば、これ

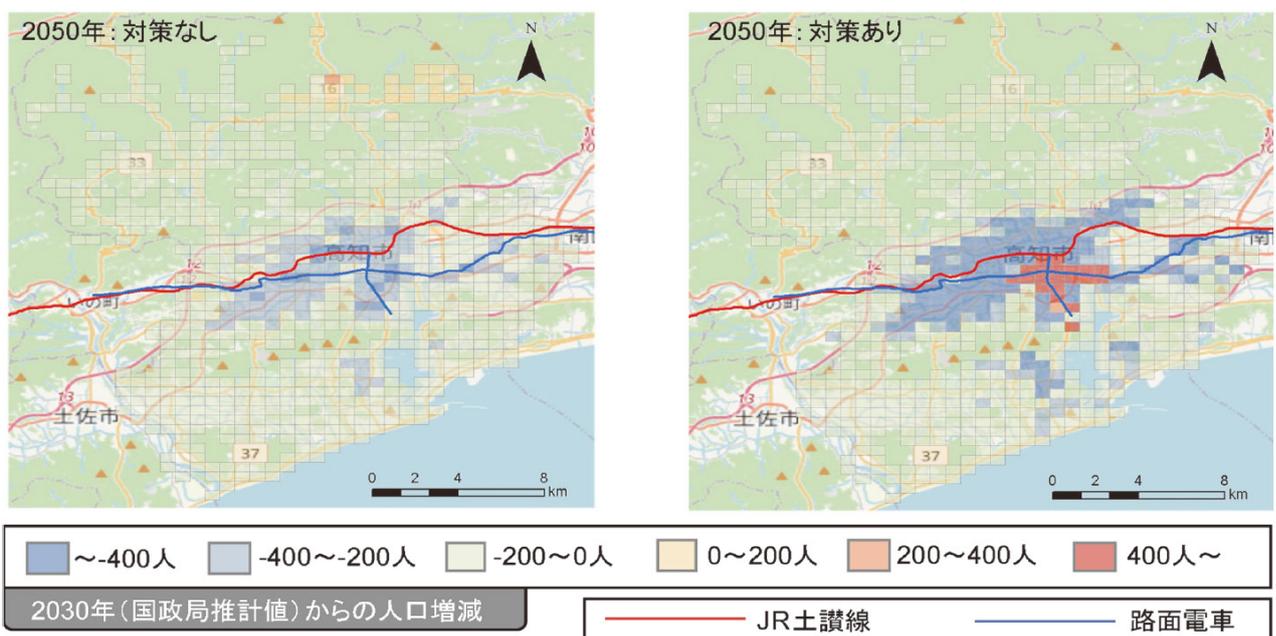


図1 将来人口推計結果

はこれまで考慮されていなかった津波防災対策の副次的な効果として位置づけられるといえよう。

表3 CO2 排出量推計結果

		年間排出量 (t-CO2/year)	削減率 ($\frac{\text{削減率}}{\text{対策無}-\text{対策有}}$)	一人あたり 排出量 (t-CO2/year)	削減率 ($\frac{\text{削減率}}{\text{対策無}-\text{対策有}}$)
2050年	対策無	150,339	—	0.573	—
	対策有 (25%転居) [※]	148,715	1%	0.567	1%
	対策有 (50%転居) [※]	143,877	4%	0.549	4%
	対策有 (75%転居) [※]	138,679	8%	0.529	8%
	対策有 (100%転居) [※]	133,118	11%	0.508	11%

※〇%転居とは転居意向率のうち〇%が転居するとした場合の推計結果

4. おわりに

本研究では、中心市街地の大部分が津波浸水想定区域となる高知市を対象とし、津波防災対策の実現が環境負荷低減に及ぼす影響を、居住選択モデル、統計データ、および将来人口推計に基づき計算したCO2 排出量から簡易的に明らかにした。対策実施有無の比較分析の結果、対策の実施によって中心市街地やそこに近い鉄道の沿線へ居住する者は増加し、都市全体のCO2 排出量は減少する結果を得た。

未だ記憶に新しい東日本大震災の岩手県宮古市田老地区で見られたように、ハード面での防災対策の効果を過信することは望ましくない。本研究は防災対策による住民の危機管理意識の低下の助長を促すものではなく、ある程度の規模の津波防災対策を計画的に実施しなければ、防災面を意識して居住地を

決定する住民の選択肢が少なくなり、その結果として都市の拡散を免れず、非効率な都市運営をせざるを得なくなる可能性を提示することを目的としたものである。

今後の課題として、居住選択モデルとCO2 排出量の推計の改良が挙げられる。居住選択の理由としては、土地の価格、環境など、多様な項目が想定されるが、本研究ではプロファイル数の限界から考慮していない。これらが居住選択に及ぼす影響を将来人口推計とCO2 排出量推計に反映した結果と比較することで、本研究の推計結果の妥当性を検証する必要がある。またCO2 排出量については、1時点(2010年)のメッシュ別の自動車分担率から自動車保有台数を算出した値を用いているが、より推計値の精度を高めるため、将来の高齢化等に伴うメッシュ別の自動車分担率の変化を考慮した値を用いる等の処理を行う必要がある。□

参考文献

- 1) 国土交通省、津波防災地域づくりに関する法律について、<http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/point/tsunamibousai.html>
- 2) 国土交通省、立地適正化計画の意義と役割～コンパクトシティ・プラス・ネットワークの推進～、https://www.mlit.go.jp/en/toshi/city_plan/compactcity_network2.html
- 3) 上田孝行編著：Excel で学ぶ地域・都市経済分析、コロナ社、2010。