

# 浸水リスク軽減施策検討のための住宅と企業の用途地域別立地競争を考慮した 立地均衡型都市モデル

A location equilibrium type urban model considering location competition between housing and business in each zoning district for planning measures to reduce flooding risk

佐藤徹治研究室 23R2013 野口 脩平

## 1. 序論

近年の気候変動を背景に、豪雨による人的・物的被害が増加している。2019年において、令和元年房総半島台風や令和元年東日本台風等の影響で、物的被害にあたる水害被害額が全国で約2兆1,800億円に上り、統計開始以来最大を記録した。2019年以降も都道府県別で統計開始以来最大の水害被害額が公表されている。そのため、浸水リスク軽減施策の事前評価には意義がある。

本研究では、用途地域別の住宅・企業の立地競争、住宅タイプ・業種・施設タイプ別の床（土地）の需要、不在地主による床（土地）の供給、各ゾーンでの立地均衡を仮定し、浸水リスクが都市圏内の人口・企業分布に及ぼす将来時系列の影響を推計可能なモデルの構築を行う。また、神奈川県小田原市および周辺市町を対象に、実証モデルを構築して、浸水被害軽減に資するハード・ソフト施策、それらの組み合わせが将来の人口・企業分布に及ぼす影響を分析し、各種施策の有効性の検証を行う。

関連既往研究として、今井ら(2016)り、中道ら(2021)が挙げられる。今井らは、浸水リスクを考慮した都市内人口分布推計モデルを構築し、富山県富山市における2010年～2040年までの将来の人口分布推計を行った。また、土地利用施策等のソフトな浸水リスク軽減対策が人口分布に及ぼす影響を分析した。中道らは、施設タイプが同じでも、上流・下流といったサプライチェーン上の位置で立地場所が異なることを考慮した上で、東京都市圏の物流施設をサプライチェーンの観点から類型化し、サプライチェーン類型別に立地選択分析を行った。しかし、これらの研究では、立地主体が世帯・企業のどちらかに限定されており、床（土地）市場における立地競争が考慮されていない。本研究のモデルは、住宅と企業の立地競争を考慮し、将来時系列で各種浸水リスク軽減施策を評価可能な点に特徴がある。

## 2. 立地均衡型都市モデルの理論構築

### 2.1 モデルの構成

モデルは、世帯の立地選択行動、企業の立地選択行動、不在地主の床（土地）供給行動、床（土地）市場の需給均衡を仮定する。なお、住宅・事務所・店舗は床ベース、工場・倉庫は土地ベースで立地の意思決定が行われることが多いと考えられることから、住宅・事務所・店舗では、床1m<sup>2</sup>あたりの年間賃料、工場・倉庫では、土地1m<sup>2</sup>あたりの年間地代を価格変数とする。また、用途地域等

による立地規制を念頭に、対象地域を「住宅単独市場」、「住宅・事務所・店舗競争市場」、「工場・倉庫競争市場」に分割し、住宅・事務所・店舗競争市場において、住宅と企業の立地競争を考慮する。市場分割の詳細を表-1、立地均衡型都市モデルのフローを図-1示す。

表-1 市場分割の詳細

市場	用途地域等
住宅単独市場	住居専用地域、市街化調整区域
住宅・事務所・店舗競争市場	第一・二種住居地域、準住居地域、近隣商業地域、商業地域、準工業地域（住宅・事務所・店舗の用地面積比率を乗じたもの）
工場・倉庫競争市場	工業地域、工業専用地域、準工業地域（工場・倉庫の用地面積比率を乗じたもの）

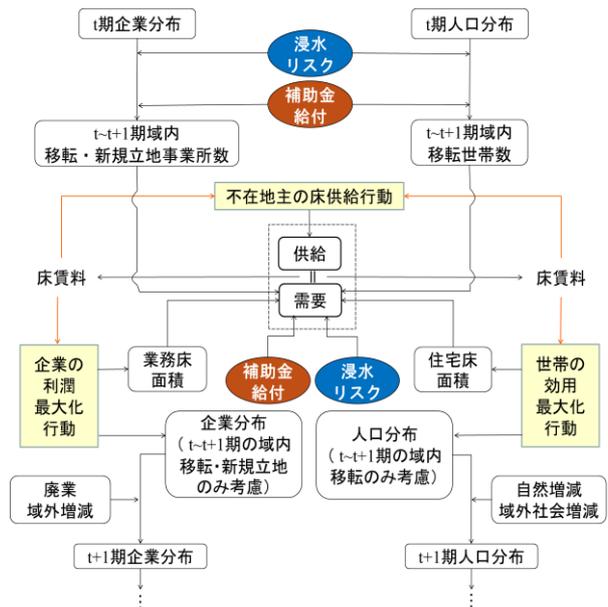


図-1 立地均衡型都市モデルの全体構成  
(住宅・事務所・店舗競争市場の場合)

### 2.2 モデルの定式化

#### (1) 世帯の移転先地域の選択確率

各世帯の移転先地域の選択は、住宅タイプ別に、各候補地域の部分効用に基づき多項ロジットモデルに従って行われると仮定する。移転先地域選択確率を(1)式、部分効用を(2)式に示す。

$$P_{i,h,t}^H = \frac{\exp(V_{i,h,t}^H + \tau_{i,h})}{\sum_j \exp(V_{j,h,t}^H + \tau_{j,h})} \quad (1)$$

$$V_{i,h,t}^H = f(r_{i,t}, I_{h,t}, \mathbf{Z}_{i,h,t}^H, FR_{i,h,t}) \quad (2)$$

ここで、下添字  $i, j$  はゾーン、 $h$  は住宅タイプ、 $t$  は期を表す。 $P^H$  は世帯の移転先地域選択確率、 $V^H$  は部分効用、

$\tau$  は調整項（部分効用で表現できない要因）、 $r$  は床  $1\text{m}^2$  あたりの年間賃料、 $I$  は所得、 $\mathbf{Z}^H$  は住環境評価項目ベクトル、 $FR$  は浸水リスク指標である。

## (2) 住宅床需要量

各ゾーンの住宅床の需要量は、各ゾーンに移転する世帯数に1世帯あたりの住宅床面積を掛け合わせることで求められる。 $t$ 年の住宅床需要面積を(3)式、1世帯あたりの住宅床面積を(4)式に示す。

$$D_{i,h,t}^H = l_{i,h,t}^H \bar{N}_{h,t}^H P_{i,h,t}^H \quad (3)$$

$$l_{i,h,t}^H = \frac{b_h}{r_{i,t}} I_{h,t} \quad (4)$$

ここで、 $i, j$  はゾーン、 $D^H$  は住宅床需要面積、 $l^H$  は1世帯あたりの住宅床面積、 $\bar{N}^H$  は都市圏内で移転意思のある世帯総数、 $b$  はパラメータ、 $I$  は所得である。

## (3) 企業の移転・新規立地先地域の選択確率

各企業の移転・新規立地先地域の選択は、業種・施設タイプ別に、各候補地域の利潤、利潤以外の立地魅力度に基づき多項ロジットモデルに従って行われると仮定する。移転・新規立地先地域選択確率を(5)式、利潤を(6)式、利潤以外の立地魅力度を(7)式に示す。

$$P_{i,m,f,t}^F = \frac{\exp(f(\Pi_{i,m,f,t} V_{i,m,f,t}^F + \lambda_{i,m,f}))}{\sum_j \exp(f(\Pi_{j,m,f,t} V_{j,m,f,t}^F + \lambda_{j,m,f}))} \quad (5)$$

$$\Pi_{i,m,f,t} = \Pi'_{i,m,f,t} (\Pi'_{i,m,f,t}, r_{i,t}) \quad (6)$$

$$V_{i,m,f,t}^F = V'_{i,m,f,t} (\mathbf{Z}'_{i,m,f,t}, FR_{i,t}) \quad (7)$$

ここで、下添字  $i, j$  はゾーン、 $m$  は業種、 $f$  は施設タイプを表す。 $P^F$  は事業所の新規立地・移転先地域選択確率、 $\Pi$  は利潤、 $V^F$  は利潤以外の立地魅力度、 $\lambda$  は調整項（利潤、立地魅力度で表現できない要因）、 $\Pi'$  は床賃料（地代）の支払い前の利潤、 $\mathbf{Z}'$  は立地魅力度の各種要因ベクトル、 $FR$  は浸水リスク指標である。

## (4) 業務床（地）需要量

各ゾーンの業務床（地）の需要量は、各ゾーンに新規立地・移転する事業所数に1事業所あたりの業務床（地）面積を掛け合わせることで求められる。 $t$ 年の業務床（地）需要面積を(8)式、1事業所あたりの業務床（地）面積を(9)式に示す。

$$D_{i,m,f,t}^F = l_{i,m,f,t}^F (\bar{N}_{m,f,t}^F + \bar{M}_{m,f,t}^F) P_{i,m,f,t}^F \quad (8)$$

$$l_{i,m,f,t}^F = \frac{\gamma_{m,f}}{r_{i,t}} X_{m,f,t} \quad (9)$$

ここで、 $i, j$  はゾーン、 $D^F$  は業務床（地）需要面積、 $l^F$  は1事業所あたりの業務床（地）面積、 $\bar{N}^F$  は都市圏内で移転意思のある事業所総数、 $\bar{M}^F$  は都市圏内で新規立地意思のある事業所総数、 $\gamma$  はパラメータ、 $X$  は生産額である。

## (5) 不在地主による床（土地）供給行動

不在地主の住宅床・業務床（土地）の供給量は、(10)式に示すとおり、床賃料（地代）によって変化すると仮定する。

$$S_{i,t} = \left(1 - \frac{\delta_i}{r_{i,t}}\right) \bar{S}_{i,t} \quad (10)$$

ここで、 $S$  は床（土地）供給量、 $\delta$  はパラメータ、 $\bar{S}$  は供給可能面積である。

## (6) 床（土地）市場の需給均衡

住宅タイプ間・業種間・施設タイプ間での立地の競合を考慮し、各ゾーンにおいて、すべての住宅タイプ・業種・施設タイプにおける床（土地）需要面積の合計と床（土地）供給面積が一致するように床（土地）市場で価格調整が行われ、最終的に立地面積が決定されることとする。 $t$ 年における住宅単独市場、住宅・事務所・店舗競合市場、工場・倉庫競合市場における床（土地）の需要と供給の均衡をそれぞれ(11)、(12)、(13)式に示す。

$$\sum_h D_{i,h,t}^H(r_{i,t}) = S_{i,t}(r_{i,t}) \quad (11)$$

$$\sum_h D_{i,h,t}^H(r_{i,t}) + \sum_m \sum_f D_{i,m,f,t}^F(r_{i,t}) = S_{i,t}(r_{i,t}) \quad (12)$$

$$\sum_m \sum_f D_{i,m,f,t}^F(r_{i,t}) = S_{i,t}(r_{i,t}) \quad (13)$$

## 3. 立地均衡型都市モデルを用いた実証モデルの構築

### 3.1 対象地域およびゾーン区分

対象地域は、小田原市および周辺市町（南足柄市、大井町、松田町、山北町、開成町、真鶴町、湯河原町）の8市町とする。分析のゾーン区分は、2020年時点で人口、事業所、供給可能面積が存在する1kmメッシュとする。

### 3.2 アンケート調査

世帯における住宅タイプ別の移転意向と移転先地域選択に際しての住環境評価項目の各種要因（(2)式の説明変数）、企業における業種別・施設タイプ別の移転・新規立地意向と移転・新規立地先地域選択に際しての利潤以外の立地魅力度の各種要因（(7)式の説明変数）を把握するためのプレアンケート調査、(2)、(6)、(7)式のパラメータ推定を行うためのプロフィールアンケート調査を実施した。

### 3.3 (2)、(6)、(7)式のパラメータ推定

(2)、(6)、(7)式のパラメータは、プロフィールアンケート調査の個票データを用い、二項ロジスティック回帰分析（最尤法）により、(2)式については住宅タイプ別、(6)、(7)式については業種分類別・施設タイプ別に推定した。企業における業種分類は、プレアンケート調査の結果を基に設定した。業種分類を表-2に示す。

変数選択では、30%水準で非有意な変数を除いて推定を繰り返す変数減少法を用いた。なお、推定に際して、価格変数を住宅・事務所・店舗では、床  $1\text{m}^2$  あたりの年間賃料、工場・倉庫では、土地  $1\text{m}^2$  あたりの年間地代に変換した。また、(6)、(7)式は(14)式のように統合して推定した。(2)式のパラメータ推定結果を表-3、(14)式のパラメータ推定結果を表-4に示す。

$$f(\Pi_{i,m,f,t}, V_{i,m,f,t}^F) = \alpha_{m,f} \Pi'_{i,m,f,t} + \beta_{m,f} r_{i,t} + \gamma_{m,f} \mathbf{Z}'_{i,m,f,t} + \delta_{m,f} FR_{i,t} \quad (14)$$

表-2 業種分類

業種分類	業種	サンプル数
a	建設業	635
	製造業	
	運輸業・郵便業	
b	卸売業・小売業	499
	金融業・保険業	
	不動産業・物品賃貸業	
c	情報通信業	909
	学術研究・専門・技術サービス業	
	宿泊業・飲食サービス業	
	生活関連サービス業・娯楽業	
	教育・学習支援業	
	医療・福祉業	
	複合サービス業	
	その他サービス業	

表-3 (2)式のパラメータ推定結果

住宅タイプ	変数名	係数	P値	尤度比	N
戸建て (持ち家)	食品スーパーまでの距離	-0.5004	P<0.001	***	1,249
	LN (最寄り駅までの距離)	-0.2010	0.007	***	
	水害時の想定最大浸水深	-0.2330	P<0.001	***	
	LN (床1㎡あたりの年間賃料)	-0.4522	P<0.001	***	
集合住宅 (分譲)	LN (所得)	0.2174	P<0.001	***	1,306
	食品スーパーまでの距離	-0.7582	P<0.001	***	
	LN (最寄り駅までの距離)	-0.3809	0.008	**	
	水害時の想定最大浸水深	-0.1023	0.025	**	
集合住宅 (賃貸)	LN (床1㎡あたりの年間賃料)	-0.7950	0.018	**	1,946
	LN (所得)	0.2815	P<0.001	***	
	食品スーパーまでの距離	-0.5448	P<0.001	***	
	LN (最寄り駅までの距離)	-0.2715	0.007	**	
	水害時の想定最大浸水深	-0.1739	P<0.001	***	3,204
	LN (床1㎡あたりの年間賃料)	-1.7606	P<0.001	***	
	LN (所得)	0.2030	P<0.001	***	

注) \*:P<0.1, \*\*: P<0.05, \*\*\*: P<0.01

表-4 (14)式のパラメータ推定結果

業種分類	施設タイプ	変数名	係数	P値	尤度比	N
a	事務所	水害時の想定最大浸水深	-0.0497	0.017	**	245
		LN (床1㎡あたりの年間賃料)	-0.4851	P<0.001	***	
		LN (利潤)	0.0289	P<0.001	***	
	工場	バス停までの距離	-0.0007	P<0.001	**	123
		高速道路を除く幹線道路までの距離	-0.0315	0.142		
		水害時の想定最大浸水深	-0.0835	0.006	***	
		LN (土地1㎡あたりの年間地代)	-0.3961	P<0.001	***	
		LN (利潤)	0.0237	0.015	**	
		LN (最寄り駅までの距離)	-0.0008	P<0.001	***	
	倉庫	水害時の想定最大浸水深	-0.1515	P<0.001	***	154
		LN (土地1㎡あたりの年間地代)	-0.5022	P<0.001	***	
		LN (利潤)	0.0395	P<0.001	***	
b	事務所	LN (最寄り駅までの距離)	-0.4755	P<0.001	***	320
		LN (床1㎡あたりの年間賃料)	-0.5900	P<0.001	***	
		LN (利潤)	0.0429	P<0.001	***	
	店舗	LN (最寄り駅までの距離)	-0.4855	P<0.001	***	95
		高速道路を除く幹線道路までの距離	-0.0379	0.134	**	
		LN (床1㎡あたりの年間賃料)	-0.3525	P<0.001	***	
c	事務所	LN (利潤)	0.0268	0.012	**	482
		LN (最寄り駅までの距離)	-0.5200	P<0.001	***	
		水害時の想定最大浸水深	-0.0207	0.284		
	店舗	LN (床1㎡あたりの年間賃料)	-0.4998	P<0.001	***	142
		LN (利潤)	0.0425	P<0.001	***	
		LN (最寄り駅までの距離)	-0.5032	P<0.001	***	
bc	倉庫	水害時の想定最大浸水深	-0.1005	0.001	**	102
		LN (床1㎡あたりの年間賃料)	-0.3074	P<0.001	***	
		LN (利潤)	0.0333	0.002	***	
		バス停までの距離	-0.0007	P<0.001	***	
		水害時の想定最大浸水深	-0.1012	0.020	**	1,536
		LN (土地1㎡あたりの年間地代)	-0.5547	P<0.001	***	
		LN (利潤)	0.0320	0.010	**	

注) \*:P<0.1, \*\*: P<0.05, \*\*\*: P<0.01

### 3.4 ゾーン毎のデータ収集と地価関数の推定

実証モデルを用いて、将来時系列の人口・企業分布を推計するために、2020年時点のすべての変数をゾーン毎に設定した。床1㎡あたりの年間賃料、土地1㎡あたりの年間地代は、土地1㎡あたりの地価、年間利子率(4%と仮定)等を用いて設定した。ゾーン毎の地価については、別途地価関数を推定し推計した。

地価関数の推定には、データの空間的自己相関を考慮

可能な空間ヘドニック・アプローチを用いた。地域特性が異なることを考慮して、市街化区域内・外の2つに分けて推定した。モデル選択では、線形回帰モデル(BM)、空間ラグモデル(SLM)、空間エラーモデル(SEM)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。

## 4. シミュレーション分析

### 4.1 概要

構築した実証モデルにより、将来時系列の人口・企業分布を推計する。推計期間は、5年を1期として、2020~2050年までの6期30年間とする。シミュレーションは、現状趨勢(BAU)ケース以外に、河川整備等を行い、浸水深が0mとなるハード施策を行うケース、ハード施策に加えて移転する世帯と移転・新規立地する企業に補助金を給付するソフト施策を組み合わせるケースで行う。シミュレーションのケースを表-5に示す。

河川整備は立地適正化計画(小田原市)の防災指針で定められている河川整備実施予定区域に該当するゾーンを施策実施範囲とした。補助金給付は、住宅単独市場では居住誘導区域、住宅・事務所・店舗競合市場では、都市機能誘導区域、工場・倉庫競合市場では、工業団地・工業系用途地域に該当するゾーンの中で、浸水リスクが元々存在しないもしくは、河川整備を実施したことで浸水深が0mとなった区域を施策実施範囲とした。

表-5 シミュレーションのケース

	河川整備	補助金給付
BAU	-	-
ケース1	浸水深0m	-
ケース2	浸水深0m	世帯:50万円 企業:1,000万円
ケース3	浸水深0m	世帯:300万円 企業:3,000万円

### 4.2 シミュレーション結果

シミュレーション結果として、2050年時点の浸水想定区域内の曝露量(人口、事業所数)を図-2、2050年時点のケース3の人口、事務所・店舗、工場・倉庫の事業所数のBAUと単位地域で比較したもの(増減数)をそれぞれ図-3~図-5に示す。

図-2から、河川整備のみを行うケース1では、8,046人(6.14%)、60事業所(1.31%)の曝露量低下が見て取れる。河川整備に加えて、世帯:50万円、企業:1,000万円の補助金給付を行うケース2では、10,389人(7.92%)、206事業所(4.48%)、世帯:300万円、企業:3,000万円の補助金給付を行うケース3では、11,599人(8.85%)、240事業所(5.21%)の曝露量低下が生じているため、河川整備と補助金給付を組み合わせることで、立地誘導の相乗効果があることが分かる。

図-3の人口分布については、施策実施範囲内に集約されているが、小田原駅、鴨宮駅周辺では減少傾向である。これは、利便性が高い地域のため、需要床面積の増加に

よる地価上昇が原因と考えられる。

図-4, 5の事務所・店舗分布, 工場・倉庫分布については, 事務所・店舗は, 施策実施範囲に集約されているが, 工場・倉庫は, 大きな変化が起きていない。これは, 用途地域による立地制約が工場・倉庫の立地選択行動に影響を及ぼしているためと考えられる。

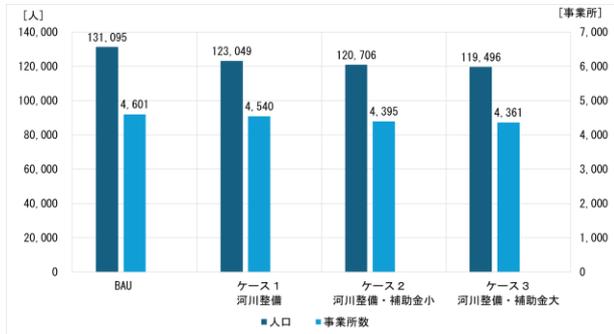


図-2 浸水想定区域内の曝露量 (2050年)

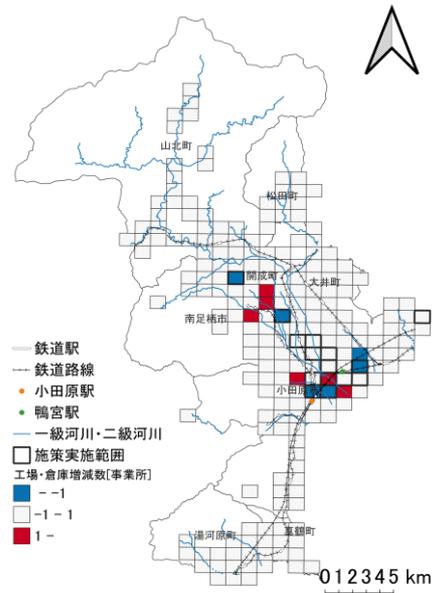


図-5 工場・倉庫増減数 (ケース3 -BAU, 2050年)

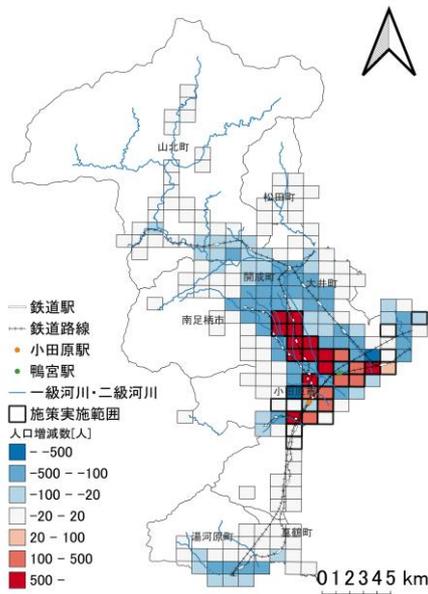


図-3 人口増減数 (ケース3 -BAU, 2050年)

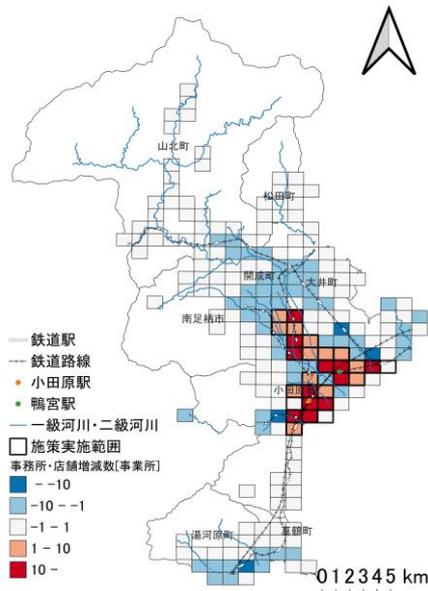


図-4 事務所・店舗増減数 (ケース3 -BAU, 2050年)

## 5. まとめ

本研究では, 用途地域別の住宅・企業の立地競合, 住宅タイプ・業種・施設タイプ別の床 (土地) の需要, 不在地主による床 (土地) の供給, 各ゾーンでの立地均衡を仮定し, 浸水リスクが都市圏内の人口・企業分布に及ぼす将来時系列の影響を推計可能なモデルの構築を行った。また, 小田原市および周辺市町を対象に, 実証モデルを構築して, 浸水被害軽減に資するハード・ソフト施策, それらの組み合わせが将来の人口・企業分布に及ぼす影響を分析し, 各種施策の有効性を検証した。

シミュレーション分析の結果, 河川整備のみで, 浸水想定区域内の人口, 事業所の曝露量低下が見込めるが, 河川整備に加えて, 補助金給付を行うことでさらなる曝露量低下が確認できた。一方で, 事業所の中でも, 工場・倉庫は河川整備や補助金給付による施策実施範囲への誘導が見込めないため, 用途地域の変更を視野に施策検討をする必要があると考えられる。

今後の課題として, モデルにおける世帯の住宅単独市場と住宅・事務所・店舗競合市場を跨ぐ立地選択行動等の考慮や都市圏外からの純流入人口・事業所の内生性が挙げられる。

## 参考文献

- 1) 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
- 2) 中道久美子, 川崎智也, 花岡伸也, 呂田子, 萩野保克, 剣持健, 岡英紀(2023) : サプライチェーンの観点からの東京都市圏物流施設の立地選択分析, 土木学会論文集 D3, Vol.76, No.5, pp.1225-1234