

# 自動運転等の新たな交通手段の普及に対応した 都市内人口推計モデルの改良

岡田 和磨<sup>1</sup>・太田 圭祐<sup>2</sup>・佐藤 徹治<sup>3</sup>

<sup>1</sup>非会員 千葉工業大学大学院 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: s17b2024ph@s.chibakoudai.jp

<sup>2</sup>学生会員 千葉工業大学大学院 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:s17B2021ke@s.chibakoudai.jp

<sup>3</sup>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

地方都市では、近年のダイヤモンドバスや自動運転バスの普及、将来的な完全自動運転車の世帯への普及により、人口減少下の都市目標であるコンパクト化と逆行する形で都市内人口分布が変化する可能性がある。このため、新たな交通手段の普及を見据えた都市施策の検討が必要と考えられる。都市施策が人口分布に及ぼす影響を分析可能なモデルを構築した研究は多く、実際の施策評価でも用いられている。しかし、既往研究のモデルは、自動運転等の新たな交通手段の普及を考慮していない。本研究では、住宅地市場の立地均衡モデルをベースに、世帯の行動を自動車の運転可否別に分けることで、新たな交通手段の普及の影響、普及を前提とした都市施策実施の影響が分析可能なモデルへの改良を行った。さらに、新潟県新潟市を対象とする実証モデルを構築した。

**Key Words :** *population distribution, new mobility mode, autonomous car, location choice model*

## 1. はじめに

近年、人口減少が進む地方都市の郊外部では、路線バスなど従来型の公共交通の運行の維持が、利用者の減少、運転手不足の両面により、困難となりつつある。一方で、高齢化により、自身での自動車の運転が困難な住民が増加している。将来的に、完全自動運転車が普及すれば、この問題は解決される可能性が高い。しかし、人口減少と高齢化が進展する中で、完全自動運転車普及までの過渡期における交通手段の確保が必要である。現在では、このような高齢住民の移動需要に対応した交通手段として、ダイヤモンドバスやダイヤモンド型乗り合い型タクシーがある。また、自動運転の技術開発は年々進んでおり、一部の都市では、既に地域限定型の自動運転バスや自動運転対応の超小型モビリティが導入されている。

自動運転等の新たな交通手段の普及は、中心部から郊外部への転居の増加、郊外部から中心部への転居の減少をもたらすと考えられる。即ち、人口減少下で地方都市が目標としている都市のコンパクト化と逆行する形で、将来の都市内の人口分布を変化させる可能性がある。このため、新たな交通手段の普及を前提に、人口減少に対

応した新たな都市施策を早急に検討する必要がある。

以上の背景から、本研究では、既存の都市内人口分布推計モデルを改良し、将来的な全自動運転車の一般世帯への普及や、それまでの過渡期における地域限定型の自動運転バスや超小型モビリティなどの普及、各種都市施策が将来時系列の人口分布に及ぼす影響を分析可能な新たなモデルを提案する。また、新潟県新潟市を対象に、実証モデルを構築し、新たな交通手段の普及による人口分布への影響分析を行う。

## 2. 関連既往研究と本研究の位置付け

都市施策による都市内の将来人口分布への影響を分析可能なモデルとしては、立地均衡モデル、土地利用マイクロシミュレーションモデルがあり、これらのモデル構築に関しては多くの研究蓄積がある。立地均衡モデルを構築した近年の研究としては、杉本ら(2018)<sup>1)</sup>、高杉ら(2018)<sup>2)</sup>、富岡ら(2018)<sup>3)</sup>が挙げられる。

杉本らは、都市構造のコンパクト化施策の有効性検討の実務に耐える都市内人口推計モデルの構築を行っ

た。住宅地の立地均衡モデルを時系列に拡張し、推計精度向上を図り立地主体属性を世帯主年齢階層別とし、転居需要を内生的に決定されるものとして取り扱った。高杉らは、新規都市交通としてLRT・BRTを導入した際の費用便益分析を念頭に、都市内人口分布への長期的影響分析の手法を開発した。富岡らは、LRT整備の影響評価手法として、LRT整備に伴う車線数の減少の自動車交通への影響を考慮した土地利用・交通モデルを構築した。しかし、これらの研究のモデルは、自動運転等の新たな交通手段の普及の影響を分析可能なものとなっていない。

自動運転車の普及の可能性を分析した近年の国内の研究としては、香月ら(2016)<sup>4</sup>、紀伊ら(2017)<sup>5</sup>、山本(2018)<sup>6</sup>、西堀ら(2019)<sup>7</sup>がある。香月らは、全国の多様な都市・属性の個人を対象にアンケート調査を実施し、自動運転車の利用意向に影響を及ぼす要因、利用意向と都市属性の関係について分析した。紀伊らは、都市の規模、車両走行速度、車両価格の変化が共有型完全自動運転車両の普及率に及ぼす影響を分析している。山本は、名古屋市名東区を対象に、自家用自動運転車のシェアリングによる移動サービスについて、アンケート調査結果に基づく待ち時間や費用からその実現可能性を示した。西堀らは、愛知県で実施された自動運転実証実験での試乗体験者へのアンケート調査結果を用いて、試乗前後における社会受容性の要因を分析した。しかし、これらの研究では、自動運転車の普及が将来時系列の世帯分布に及ぼす影響については分析されていない。

自動運転の普及が将来時系列の世帯分布に与える影響を分析した研究としては、杉本ら(2018)で構築したモデルを基に自動運転が普及した際の都市構造への影響を定量的に分析した杉本ら(2019)<sup>8</sup>がある。ただし、この研究では他の施策評価のためのモデルをパラメータを変化させることで自動運転の普及の影響評価に流用しており、運転の可否が転居の意思や転居先選定の要因に及ぼす影響が考慮されていない。

本研究では、自家用車の運転可否等、移動手段の違いが世帯の転居行動に及ぼす影響に主眼を置き、自動車運転可否別に異なる効用関数を設定し、自動運転等の新たな交通手段の普及、普及を前提とした都市施策による将来時系列の世帯分布への影響分析が可能なモデルを構築する。

### 3. 理論モデルの構築

#### (1) モデルの概要

本研究の立地均衡モデルでは、各期における対象都市内で行われる転居行動のみを推計することとし、対象圏域外に関連する社会増減や自然増減についてはコーホー

ト要因法により別途推計し、各期の立地均衡モデルに外生的に与えるものとする。

本研究のモデルは、高杉ら(2018)の立地均衡モデルを基盤として、世帯の行動を自動車の運転可否別に分けることで、交通手段の違いによる転居行動への影響を反映する。モデルフローを図-1に示す。

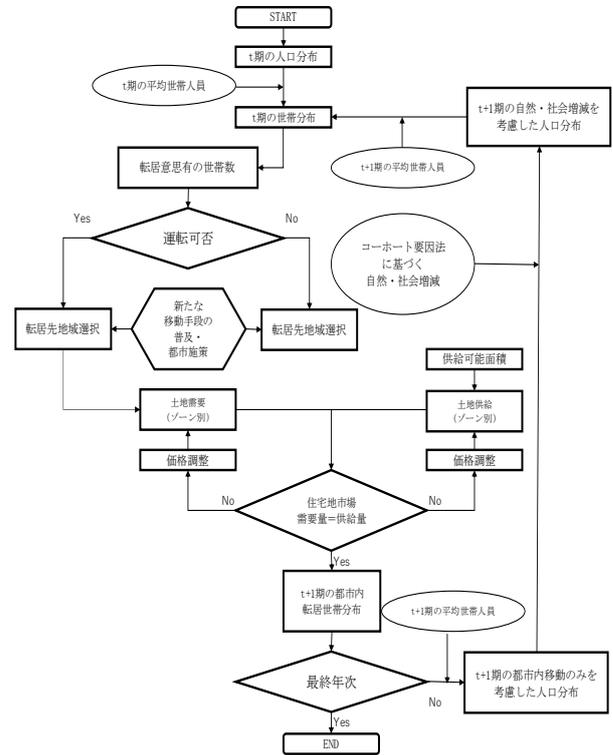


図-1 モデルフロー

#### (2) 世帯の行動

世帯の行動は自家用車利用の可否によって異なるものとし、それぞれに場合分けして考える。これにより、各世帯の転居先地域選択確率も自家用車利用の可否別に異なるものとして場合分けする。各世帯の転居先地域選択確率は、(1)、(2)式に示すとおり、各ゾーンの部分効用により決まるものとする。

$$P_{i,c,t} = \frac{\text{EXP}(V_{i,c,t} + \tau_{i,c})}{\sum_i \text{EXP}(V_{i,c,t} + \tau_{i,c})} \quad (1)$$

$$V_{i,c,t} = f(r_{i,c,t}, I_{i,c,t}, \mathbf{Z}_{i,c,t}) \quad (2)$$

ここで、 $t$ は期、 $i$ はゾーン、 $c$ は自家用車利用の可否を表す。また、 $P$ は転居先地域選択、 $V$ は部分効用、 $\tau$ はその他の効用(部分効用で評価できないゾーン固有の魅力を表す調整項)、 $r$ は地代、 $I$ は所得、 $\mathbf{Z}$ は居住地域評価指標ベクトルを表し、評価指標やパラメータは自家用車の利用の可否別に異なるものとする。

また、1世帯あたりの土地(住宅地)需要面積は地代によって変化すると仮定する。(3)~(5)式に土地(住宅地)

需要量の推計式を示す。

$$D_{i,t} = L_{i,t} \cdot N_{i,t} \quad (3)$$

$$L_{i,t} = \frac{\beta}{r_{i,t}} I_{i,t} \quad (4)$$

$$N_{i,t} = \sum_c (P_{i,c,t} \cdot NT_{c,t}) \quad (5)$$

ここで、 $D$ は土地(住宅地)需要量、 $L$ は1世帯あたりの土地(住宅地)需要面積、 $I$ は所得、 $N$ は転入世帯数、 $P$ は転居先地域選択確率、 $NT$ は転居意思ありの総世帯数、 $\beta$ は土地需要パラメータである。

### (3) 不在地主の行動

地主(供給者側)は、都市外に居住し、地代によって土地(住宅地)供給面積を変化させるものとする。不在地主による土地市場での供給面積を(6)式に示す。

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

ここで、 $S$ は土地(住宅地)供給面積、 $r$ は地代、 $\sigma$ は土地パラメータ、 $\bar{S}$ は供給可能面積を示す。

供給可能面積は、(7)式のとおり、 $t$ 期から $t+1$ 期までの間に各地域の世帯数の増減に応じて更新されるものとする。

$$\bar{S}_{i,t+1} = \bar{S}_{i,t} - (N_{i,t+1} - N_{i,t}) L_{i,t} \quad (7)$$

初期時点の供給可能面積は、市街化区域では(8)式、市街化調整区域では(9)式より算出する。

$$\bar{S}_{i,t_0} = S_{a,i,t_0} + S_{b,i,t_0} \cdot v_{i,t_0} \quad (8)$$

$$\bar{S}_{i,t_0} = S_{b,i,t_0} \cdot v_{i,t_0} \quad (9)$$

ここで、 $t_0$ は初期、 $S_a$ は田畑・農用地面積、 $S_b$ は建物用地面積、 $v$ は空き家率を示す。

### (4) 住宅地の需給均衡

住宅地市場では、(10)式のとおり、ゾーン毎に需要と供給が均衡し、各ゾーンの市場価格(地代)と立地量が決定されるものとする。

$$S_{i,t} = D_{i,t} \quad (10)$$

## 4. 新潟市を対象とする実証モデル

### (1) 対象圏域・単位地域

対象圏域は、新潟県新潟市全域とする。分析の単位地

域は、世界測地系平面直角座標系4次メッシュとし、工業地域および工業専用地域を除く市街化区域(4次メッシュ)431メッシュ、市街化調整区域(3次メッシュ)526メッシュの全957メッシュとした。対象圏域・単位地域を図-2に示す。

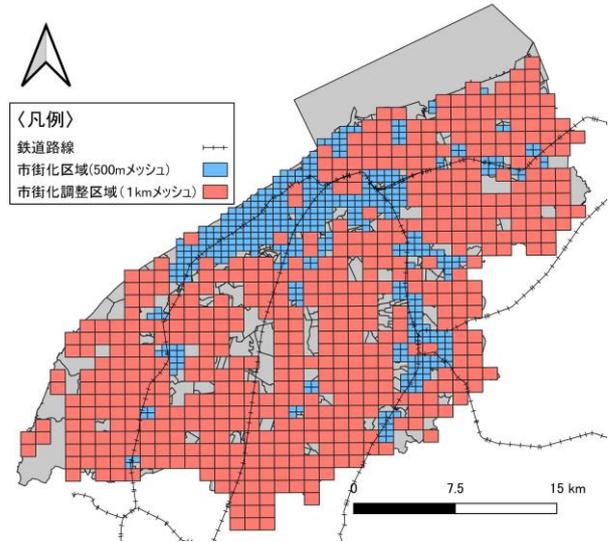


図-2 対象圏域・単位地域

### (2) 部分効用関数

(2)式の部分効用関数における居住地域評価指標は、自動車の運転可否別に、プレアンケート調査に基づき設定する。プレアンケート調査では、対象地域の住民の転居意向を把握するとともに、居住地域評価指標を多数仮定し、各指標の転居地域選択にあたっての重要度を尋ねる。調査は、新潟市在住の世帯主を対象に、2020年11月上旬に民間リサーチ企業に依頼してweb調査で実施し、300サンプルを回収した。

調査結果に基づき、自動車保有世帯の居住地域評価指標は、総合スーパー・大型商業施設までの所要時間(自動車)、都心部までの所要時間(自動車)、最寄り駅・停留所までの所要時間(徒歩)、町医者・クリニックまでの所要時間(自動車)、洪水による想定深水深、国道へのアクセス時間(自動車)、市街化区域ダミー(市街化区域：1、その他：0)とした。自動車非保有世帯の評価指標は「国道へのアクセス時間」に変えて「最寄り駅・停留所の公共交通の運行頻度」とした以外は自動車保有世帯と同指標(ただし、移動手段はすべて公共交通)とした。指標は、転居先地域選択時の重視項目をアンケート結果より序列化し、自動車保有世帯と非保有世帯それぞれで上位項目から採用するものとした。ただし、項目間の相関関係を考慮し、相関性の強い項目については項目の統合および削除を行った。

自動車の運転可否別に設定された(2)式のパラメータ推定は、プロフィールアンケート調査の個票データを用いて、最小自乗法により行う。プロフィールアンケート

調査では、居住地域評価指標などの(2)式の説明変数、L18(2<sup>1</sup>×3<sup>3</sup>)直交表を用いて、自家用車利用の可否別に仮想地域のプロファイルを作成し、18の仮想地域の居住意向を尋ねる。自動車利用可の世帯の調査票(一部抜粋)を図-3に示す。ここで、地代については、回答しやすさを考慮し、理論的には地代を利子率で除して算出される地価を代理変数として用いた。調査は、新潟市在住の世帯主を対象に、2020年12月上旬に民間のリサーチ企業に依頼してweb調査で実施し、保有世帯300サンプル、非保有世帯50サンプルを回収した。自家用車保有世帯、非保有世帯の(2)式のパラメータ推定結果をそれぞれ、表-1、表-2に示す。

	大型商業施設まで	都心部まで	最寄り駅・停留所まで(徒歩)	町医者・クリニックまで	洪水時浸水深	国道アクセス	地価 /㎡	除雪に関する負担(市街化区域・市街化調整区域)	評価
例)	10分	10分	5分	5分	0m	2分	2.5万円	市街化区域	4
1	10分	10分	5分	5分	0m	2分	2.5万円	市街化区域	
2	10分	20分	10分	10分	0.5m	7分	5万円	市街化区域	
3	10分	40分	20分	15分	2m	12分	7.5万円	市街化区域	
4	20分	10分	5分	10分	0.5m	12分	7.5万円	市街化区域	
5	20分	20分	10分	15分	2m	2分	2.5万円	市街化区域	
6	20分	40分	20分	5分	0m	7分	5万円	市街化区域	
7	30分	10分	10分	5分	2m	7分	7.5万円	市街化区域	
8	30分	20分	20分	10分	0m	12分	2.5万円	市街化区域	
9	30分	40分	5分	15分	0.5m	2分	5万円	市街化区域	
10	10分	10分	20分	15分	0.5m	7分	2.5万円	市街化調整区域	
11	10分	20分	5分	5分	2m	12分	5万円	市街化調整区域	
12	10分	40分	10分	10分	0m	2分	7.5万円	市街化調整区域	
13	20分	10分	10分	15分	0m	12分	5万円	市街化調整区域	
14	20分	20分	20分	5分	0.5m	2分	7.5万円	市街化調整区域	
15	20分	40分	5分	10分	2m	7分	2.5万円	市街化調整区域	
16	30分	10分	20分	10分	2m	2分	5万円	市街化調整区域	
17	30分	20分	5分	15分	0m	7分	7.5万円	市街化調整区域	
18	30分	40分	10分	5分	0.5m	12分	2.5万円	市街化調整区域	

図-3 自動車利用可の世帯のプロファイル調査票(一部抜粋)

表-1 自動車保有世帯の(2)式のパラメータ推定結果

	係数	t 値	
所得	0.0001	3.503**	
地価	-0.0424	-6.675**	
所要時間 (車)	大型商業施設	-0.0263	-16.547**
	都心部	-0.01	-9.650**
	町医者	-0.0089	-3.232**
所要時間 (徒歩)	最寄り駅・停留所	-0.0103	-4.297**
洪水リスク	-0.1302	-8.522**	
国道アクセス	-0.0083	-2.621**	
除雪に関する負担	0.1711	6.591**	
定数項	3.351	44.422**	
決定係数	0.0965		

注) \*\*, \*はそれぞれ1%, 5%水準で有意であることを示す。

表-2 自動車非保有世帯の(2)式のパラメータ推定結果

	係数	t 値	
所得	0.0009	6.487**	
地価	-0.0687	-4.788**	
所要時間 (公共交通)	大型商業施設	-0.0233	-9.763**
	都心部	-0.0097	-6.779**
所要時間 (徒歩)	町医者	-0.0189	-2.087*
	最寄り駅・	-0.0059	-4.017**
	停留所		
洪水リスク	-0.1423	-4.131**	
運行頻度(公共交通)	-0.0082	-2.881**	
除雪に関する負担	0.2111	3.606**	
定数項	3.4983	23.593**	
決定係数	0.2296		

注) \*\*, \*はそれぞれ1%, 5%水準で有意であることを示す。

### (3) 単位地域毎のデータ設定

構築したモデルを用いて将来時系列の都市内人口分布を推計するために、初期時点(2015年)のすべての変数を単位地域毎に設定する。

地価については、2015年の新潟市内の公示地価データを用いて地価関数を推定し、推定された地価関数と各地域の説明変数のデータにより推計した。地価関数の説明変数は、一般的な地価の説明要因を候補として、5%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決定した。採用された地価関数を(11)式、推定結果を表-3に示す。

$$\ln(r_i) = f(Z1_i, \ln(Z2_i), Z3_i, Z4_i, Z5_i, Z6_i) \quad (11)$$

ここで、Z1は前面道路幅員(m)、Z2は最寄り駅までの道路距離、Z3は第一種低層住居専用地域ダミー、Z4は商業地ダミー、Z5は用途地域外ダミー、Z6は新潟駅ダミー(最寄り駅がJR新潟駅:1, その他:0)を表す。

表-3 地価関数の推定結果

定数項	Z1	ln(Z2)	Z4	Z5	Z6
12.155	0.013	-0.215	0.345	-0.924	0.790
(34.442)	(2.004*)	(-4.506)	(2.3634*)	(-6.741*)	(8.396*)

決定係数R<sup>2</sup>=0.936

注) ( )内はt値。 \*\*, \*はそれぞれ1%, 5%水準で有意であることを示す。

各種施設までの所要時間(徒歩、自転車、路線バス)については、各メッシュの重心から目的地点までの直線距離に森本ら(2014)<sup>9)</sup>による道直比係数(新潟市)を乗じて道路距離を求め、移動速度で除すことで求めた。移動速度は、徒歩は「不動産の表示に関する公正競争規約施行規則」より80m/分、自家用車は「平成22年度道路交通センサス(昼間12時間平均旅行速度)」より34.6km/時、路線バスは「社会資本審議会都市計画・歴史風土分科会(p.2)」を参考に17.5km/時に設定した。鉄道の場合は、時刻表の各駅の発着時刻を用いて所要時間を算出した。

洪水時浸水深については、国土数値情報の「浸水想定区域」より求め、公共交通の運行頻度については、昼間12時間の時刻表を基に昼間12時間の平均値に設定した。国道については、国土数値情報より「緊急輸送道路」の国道を抽出し、各地域からのアクセス時間を設定した。

## 5. 新たな交通手段の普及の影響分析

### (1) 概要

構築した新潟市を対象とする実証モデルを用い、新たな交通手段の普及が都市内人口分布に及ぼす影響分析を行う。具体的には、新たな交通手段が普及しないケース、郊外の一部地域において自動運転バスが普及するケース、完全自動運転が各世帯に普及するケースの3ケースについて、1期を5年として2050年までの人口分布推計を行う。

各期の各ゾーンの転居意思ありの世帯数は、各ゾーンの世帯数に1期(5年間)の転居世帯比率を乗じて算出する。転居世帯比率は、表-4に示すプレアンケート調査における5年以内に新潟市内での転居意思のある世帯比率(自動車保有世帯、非保有世帯別)を用いた。

表-4 新潟市内から市内への転居率(5年以内)

自動車保有世帯	自動車非保有世帯
18.00%	38.01%

### (2) 分析結果

分析結果は、当日公表するものとして、ここでは省略する。

## 6. まとめ

本研究では、既往研究の住宅地の立地均衡モデルを改良し、自動運転等の新たな交通手段の普及、交通手段の変化によって予想されるコンパクト化と逆行する都市構造の変化を抑制する都市施策が将来時系列の都市内人口分布に及ぼす影響を分析可能なモデルを構築した。モデルは、自動車の運転可否別世帯の異なる転居行動を反映可能なものとした。さらに、新潟県新潟市を対象とする実証モデルを構築し、実証モデルの構築方法を示した。

ただし、本研究のモデルでは、年齢階層別、住宅タイプ別の行動の違いは考慮はできていない。また、世帯数と人口を平均世帯人員で変換しており、世帯の独立などの世帯構成の変化を考慮に入れていない。さらに、自動運転等の普及による渋滞、渋滞による所要時間の変化が転居行動に及ぼす影響を考慮できていない。これらを考慮したモデルへの更なる改良は今後の課題である。

## 参考文献

- 1) 杉本達哉, 神永希, 加藤秀弥, 高森秀司, 佐藤徹治 (2018): 都市構造のコンパクト化施策の有効性検討のための実用的な都市内人口分布推計モデル, 土木学会論文集 D3, Vol. 74, No. 5, pp. I\_439-I\_451
- 2) 高杉叡生, 佐藤徹治, 竹間美夏 (2018): LRT・BRT の違いおよび都市内人口分布への影響を考慮した整備便益の計測—計測手法の開発と群馬県前橋市を対象とするケーススタディー, 都市計画論文集, Vol. 53, No. 3, pp.1341-1347
- 3) 富岡秀虎, 森本章倫 (2018): CUE モデルを用いた LRT 導入による人口誘導効果に関する研究, 都市計画論文集, Vol. 53, No. 3, pp.1348-1354
- 4) 香月秀仁, 川本雅之, 谷口守 (2016): 自動運転車の利用意向と都市属性との関係分析—個人の意識, 交通行動に着目して—, 都市計画論文集, Vol. 51, No. 3, pp.728-734
- 5) 紀伊雅敦, 横田彩加, 高震宇, 中村一樹 (2017): 共有型完全自動運転車両の普及に関する基礎分析, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 73, No. 5, pp. I\_507-I\_515
- 6) 山本俊行 (2018): 自動運転車のシェアリングによる交通システム, 計測と制御, Vol. 57, No. 3, pp. 143-149
- 7) 西堀泰英, 森川高行 (2019): 自動運転車試乗前後の社会的受容性の要因分析—技術に対する認知の違いと試乗体験内容を考慮して—, 都市計画論文集, Vol. 54, No. 3, pp. 696-702
- 8) 杉本達哉, 杉浦聡志, 高木郎義 (2019): 自動運転の普及が将来の都市構造へ与える影響の定量的分析: 立地均衡モデルの適用, 土木計画学研究・講演集 (D-Ram), Vol. 60
- 9) 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研究(2014), GIS-理論と応用, Vol.22, No. 3, pp. 1-7

(2020.3.7 受付)