

# 土地利用・交通モデルを用いた 居住誘導施策の評価

下岸 楓季<sup>1</sup>・宇野 伸宏<sup>2</sup>・松中 亮治<sup>3</sup>・田中 皓介<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 学生非会員 京都大学大学院工学研究科 (〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂)  
E-mail:simogishi.fuki.52w@st.kyoto-u.ac.jp

<sup>2</sup> 正会員 京都大学教授 工学研究科 (〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂)  
E-mail:uno.nobuhiro.2v@kyoto-u.ac.jp

<sup>3</sup> 正会員 京都大学准教授 工学研究科 (〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂)  
E-mail:matsunaka.ryoji.3v@kyoto-u.ac.jp

<sup>4</sup> 正会員 京都大学助教 工学研究科 (〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂)  
E-mail:tanaka.kosuke.6k@kyoto-u.ac.jp

本研究では、居住誘導施策の一つである住宅補助施策を対象として、家計の転居行動を考慮した土地利用・交通モデルを構築し、人口減少下において、居住誘導施策が都市構造に与える影響、便益の帰着構造ならびに財政収支を定量的に分析した。

家計の転居行動をシミュレートした結果、住宅補助施策によって、都市が集約化し、自動車から公共交通への転換が生じることを示した。また、純現在価値が正となり、経済的に効率の良い施策であること、財政収支は大きなマイナスとなることを明らかにした。

*Key Words: compact city, location normalization plan, land use-transport interaction model*

## 1. はじめに

### (1) 背景と目的

日本の地方都市では、急速な人口減少と高齢化に加え、住宅や店舗等の郊外立地が進み、都市構造の拡散が生じている。厳しい財政状況下で、都市構造の拡散により行政サービスに関する費用の増大が生じると、将来は住民への上下水道や公共交通などの生活サービスの提供が困難になると予想される。これらの問題を解決する都市のあり方として、わが国は「コンパクト・プラス・ネットワーク」によるまちづくり<sup>1)</sup>を目指している。「コンパクト・プラス・ネットワーク」によるまちづくりとは、都市内の人口や生活サービス施設を複数の拠点に誘導し、それらを地域の軸となる公共交通によって連結することで、密な公共交通網を中心としたコンパクトな都市構造を達成することである。「コンパクト・プラス・ネットワーク」の考え方に基づく政策を行うことで、住民が徒歩や公共交通を利用して容易に生活サービス施設にアクセスできるようになるとともに、インフラの維持管理の効率化や地価の維持による固定資産税収の確保等による

財政の健全化などが期待される。

このような背景から、2014年に都市再生特別措置法が改正され、立地適正化計画制度<sup>2)</sup>が創設された。立地適正化計画では、人口を維持するための居住誘導区域と、医療施設や商業施設などを誘致する都市機能誘導区域を設定し、「コンパクト・プラス・ネットワーク」を達成するための方針を自治体ごとに定めることとしている。2022年7月31日時点では460都市が立地適正化計画を作成・公表している。しかし、居住誘導区域外について、市民から行政サービス水準の低下への懸念が寄せられていること<sup>3)</sup>や、自治体は立地適正化計画の重要性は認識している一方、計画に懸念を抱える郊外の住民や地主への配慮から、都市機能の集約化や強制力を伴う居住誘導には、慎重であること<sup>4)</sup>が指摘されている。

以上を踏まえ、人口減少下における地方都市を対象として、家計の転居行動を考慮したシミュレーションモデルを用いることで、居住誘導施策による「コンパクト・プラス・ネットワーク」の推進が都市構造に与える影響を明らかにする。また、施策による便益と施策実行のための費用、および行政の財政収支を算出することで、施

策を評価することを目的とする。

## (2) 既往研究のレビューと本研究の特徴

都市のコンパクト化による便益と財政支出の変化に関する研究として、高橋ら<sup>5)</sup>、松縄ら<sup>6)</sup>、沓澤ら<sup>7)</sup>の研究が挙げられる。高橋ら<sup>5)</sup>は、環境会計の考え方を援用し、コンパクトシティの効果を定量化する都市形成会計システムを構築した。また、仮想都市と福岡市を対象に費用便益分析を行い、都市便益に占めるインフラコスト削減効果の割合が大きいことなどを明らかにした。松縄ら<sup>6)</sup>は、神戸市を対象に住宅補助施策について費用便益分析を行い、純便益が正になることを示した。また、市の財政についても分析を行い、収支は微減に留まることを明らかにした。沓澤ら<sup>7)</sup>は、都市中心部への人口集中度の指標として、人口と都市中心部からの距離により算出した標準距離を用い、その数値が都市財政に与える影響について分析した。その結果、都市の中心部への集中は、財政支出を抑制する傾向があり、特に普通建設事業費に関してその傾向が顕著であることを明らかにした。しかし、これらの研究では、施策による人口分布の変化は外生的に与えて便益等を算出している。そのため、施策による都市構造の変化を分析し、その結果を用いて都市のコンパクト化による効果を評価する必要がある。

都市モデルを用いて居住誘導の効果を分析した研究として、大庭ら<sup>8)</sup>、竹間ら<sup>9)</sup>、杉本ら<sup>10)</sup>、秀島ら<sup>11)</sup>の研究が挙げられる。大庭ら<sup>8)</sup>は、中心市街地と郊外店舗の競合および中心市街地の空間配分に着目した土地利用・交通モデルを構築し、シミュレーションを行った。その結果、公共交通の利便性を高めることが、都市のコンパクト化や中心市街地の活性化につながることを明らかにした。竹間ら<sup>9)</sup>は、住宅タイプや年齢階層を考慮し、居住誘導施策が時系列ごとの人口分布に与える影響を評価できる立地均衡モデルを構築した。その上で、愛知県豊橋市を対象に、住宅補助施策が居住誘導区域の人口増加に与える影響を明らかにした。杉本ら<sup>10)</sup>は、転居需要を内生化した、居住誘導施策の有効性を検討できる応用都市経済モデルを構築した。その上で、富山市都市圏を対象に、住宅補助施策と食料品店誘導施策が人口分布および行政コストに与える影響を明らかにした。秀島ら<sup>11)</sup>は、応用都市経済モデルを用いて、各種居住誘導施策による都市構造の変化を分析し、各主体の便益を算出した。また、複数の施策を組み合わせた場合について分析し、組み合わせられた施策が都市のコンパクト化に大きく寄与することを明らかにした。これらの研究では、住宅タイプや個人属性の考慮など、詳細に将来の都市構造を分析したのも見られるが、「コンパクト・プラス・ネットワーク」の観点から、居住誘導施策の評価には、家計の交通行動を考慮したモデルを用いるのが妥当だと考えられる。ま

た、秀島ら<sup>11)</sup>は、全ての住民を立地選択の対象として、施策による各主体の便益を分析している。しかし、現在価値の観点から、居住誘導施策の評価には、都市の集約化に要す時間を考慮する必要がある。以上を踏まえ、本研究の特徴を以下に示す。

- 人口減少や家計の転居行動を考慮し、複数期の分析が可能な土地利用・交通モデルを構築している点
- 施策による都市構造と交通分担率の変化を分析している点
- 施策による行政の財政収支の変化を分析している点

## 2. 都市モデルの構築

### (1) 仮想都市の設定

本研究で構築する土地利用・交通モデルは、大庭ら<sup>8)</sup>の研究で用いられたモデルを基本とし、複数期の推計を実行できるように拡張したモデルである。また、本研究では図-1に示す単一中心の仮想都市を用いる。

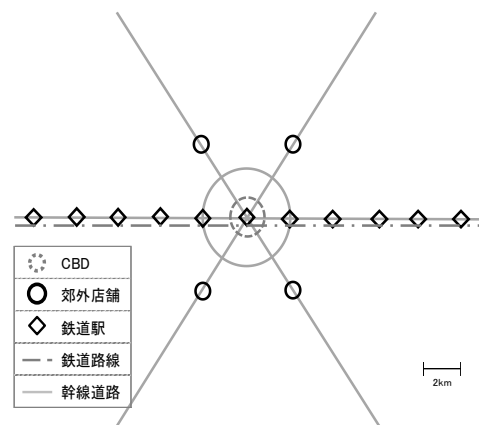


図-1 仮想都市の概形

分析対象の都市については次のような仮定をおく。

- 都市は、人口の流入のない閉鎖都市である。
- わが国において30万人程度の人口を有する地方都市を想定したうえで、都市中心には半径800mの円形の中心業務地区（以下CBDと記す）が、都市中心から4kmには4つの郊外店舗が存在する。
- 都市内の土地はすべて土地供給者によって所有され、開発者は土地供給者から土借り受け、建物床を立地主体に供給する。
- 立地主体として、家計は都市全体に、商業立地者はCBDに立地する。商業立地者は、CBD内の商業地（以下、中心商業地と記す）を、店舗用地および商業駐車場用地として利用する。
- 都市内には、図-1に示す6方向の放射幹線道路お

よび都市中心から 2km に位置する環状幹線道路が存在する。また、図-2 に示す鉄道路線およびバス路線が存在する。

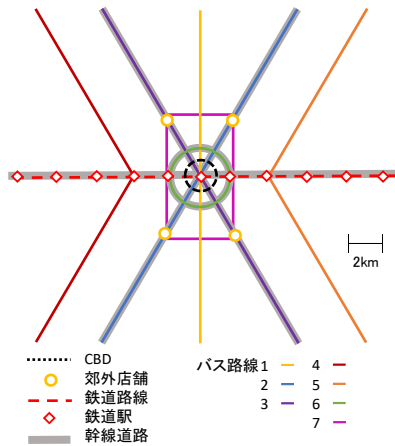


図-2 仮想都市で想定する公共交通網

(2) 交通一般化費用の算出

a) 交通機関別の一般化費用の算出

住民は交通手段を自動車・徒歩・鉄道・バスから選択する。ここで、自動車については、全ての住民が保有し、利用可能とする。また、住民は通勤・買物の交通行動をとるとする。時間価値について、国交省資料<sup>12)</sup>より 24.94 円/分として一般化費用を算出する。

都市内には、幹線道路の他に、400m 間隔で東西南北方向の細街路が存在する。自動車で移動する場合には、細街路と幹線道路の両方を用いて移動するか、細街路のみを用いて移動するかについて、一般化費用の小さいほうを選択する。なお、幹線道路を用いる場合は所要時間が最短となる経路を選択する。幹線道路においては自動車混雑を考慮し、以下の BPR 関数に基づいて、リンクごとに交通量に応じた自動車速度を決定する。なお、細街路では混雑は考慮せず、自動車速度は 15km/h とする。

$$T = T_0 \cdot \left\{ 1 + \eta_1 \cdot \left( \frac{q}{c} \right)^{\eta_2} \right\} \quad (1)$$

ただし、 $T$  : 単位旅行時間,  $T_0$  : 単位自由旅行時間  
 $q$  : 日交通量,  $c$  : 日交通容量,  $\eta_1, \eta_2$  : パラメータとする。

上記により算出した移動時間に加え、距離あたりの自動車費用と駐車費用を考慮し、自動車の一般化費用を算出する。

徒歩で移動する際には、出発地から目的地まで直線的に移動するものと考え、移動時間より徒歩の交通一般化費用を算出する。徒歩移動速度は 4km/h とする。なお、徒歩移動時間には上限を設け、90 分以上の徒歩移動は行わないとする。

鉄道・バスで移動する際には、最寄り駅・バス停まで

直線的に移動し、そこから目的地の最寄り駅・バス停まで鉄道・バスを利用し、目的地までは再び徒歩で移動するものとする。鉄道・バスの運行間隔は一定とし、その半分の時間が駅での待ち時間として発生する。また、車両混雑による不効用の時間換算値を、鉄道プロジェクトの評価手法マニュアル<sup>13)</sup>に記載された混雑不効用関数に基づいて算出する。鉄道の利用時は、鉄道駅での徒歩移動時間を考慮する。また、バスの速度は、同じ道路を走る自動車の速度により決定され、松中ら<sup>14)</sup>の研究に基づき、以下の式(2)により求める。また、バス停における乗降時間を小林<sup>15)</sup>の研究に基づき、以下の式(3),(4)により求める。

$$V_B = \begin{cases} \left( \frac{V_C}{\exp P_a} \right)^{1/P_b}, & V_C \geq 35 \\ \left( \frac{35}{\exp P_a} \right)^{1/P_b} \times \frac{V_C}{35}, & V_C < 35 \end{cases} \quad (2)$$

$$Time_{on} = 2.41 \cdot Num_{on} + 0.0938 \cdot PNum + 2.76 \quad (3)$$

$$Time_{off} = 3.65 \cdot Num_{off} + 0.187 \cdot PNum \quad (4)$$

ただし、 $V_B$  : バスの走行速度,  $V_C$  : 他の自動車の走行速度,  $P_a, P_b$  : パラメータ,  $Time_{on}$  : 乗車時間,  $Num_{on}$  : 乗車人数,  $PNum$  : 乗車前の車内人数,  $Time_{off}$  : 降車時間,  $Num_{off}$  : 降車人数とする。

上記により算出した移動時間に加え、初乗り運賃と距離当たり運賃を考慮し、鉄道・バスの一般化費用を算出する。

b) 交通手段および目的地の選択

住民の交通行動として、通勤および買物を考慮し、それぞれのトリップ頻度として一定値を与える。まず、通勤交通の目的地に関して、総人口の内、一定割合の住民は CBD に向かい、残りは人口分布に応じて市街地全域に向かう。なお、本研究において、市街地とは人口密度 5人/ha 以上の地域を指す。まず、CBD を通勤目的地として選択する住民は、中心市街地活性化法に基づき設定を受けた中心市街地活性化基本計画<sup>16)</sup>に記載された地方都市における、中心市街地および市全体の従業員数より、総人口の 18.9% と設定する。居住地  $k$  から CBD への一般化費用を考慮し、以下の式により CBD への通勤確率を決定する。

$$p_{k,CBD} \propto \frac{1}{GC_{k,CBD}} \quad (5)$$

$$s. t. \ pop_{CBD} = \sum_k (pop_k \cdot p_{k,CBD}) \quad (6)$$

ただし、 $p_{k,CBD}$  : 地点  $k$  における CBD への通勤確率,  $GC_{k,CBD}$  : 地点  $k$  における CBD への一般化費用,  $pop_{CBD}$  : 都市内の CBD に通勤する人数,  $pop_k$  : 地点  $k$  の人口とする。

次に、市街地への通勤確率は、通勤目的地 $k_2$ の人口と、居住地 $k$ からの一般化費用を考慮し、以下の式により決定する。

$$p_{k,k_2} \propto \frac{pop_{k_2}}{(GC_{k,k_2})^2} \quad (7)$$

$$s. t. (1 - p_{k,CBD}) = \sum_{k_2} p_{k,k_2} \quad (8)$$

ただし、 $p_{k,k_2}$ ：地点 $k$ における地点 $k_2$ への通勤確率、 $pop_{k_2}$ ：地点 $k_2$ の人口、 $GC_{k,k_2}$ ：地点 $k$ から地点 $k_2$ への一般化費用とする。

通勤交通の交通手段選択には、図3に示すネスティッドロジットモデルを用い、各交通手段を用いる際の効用を以下のように定式化する。

$$\text{自動車} : V_{C,k_1,k_2,w} = \theta_1 \cdot GC_{C,k_1,k_2} \quad (9)$$

$$\text{徒歩} : V_{W,k_1,k_2,w} = \theta_1 \cdot GC_{W,k_1,k_2} + \theta_{W,w} \quad (10)$$

$$\text{鉄道} : V_{T,k_1,k_2,w} = \theta_1 \cdot GC_{T,k_1,k_2} + \theta_{T,w} \quad (11)$$

$$\text{バス} : V_{B,k_1,k_2,w} = \theta_1 \cdot GC_{B,k_1,k_2} + \theta_{B,w} \quad (12)$$

ただし、 $V_{M,k_1,k_2,w}$ ：通勤交通において交通手段 $M$ で地点 $k_1$ から地点 $k_2$ へ向かう場合の効用、 $GC_{M,k_1,k_2}$ ：交通手段 $M$ で地点 $k_1$ から地点 $k_2$ へ向かう場合の一般化費用、 $\theta_1, \theta_{M,w}$ ：パラメータとする。

買物交通では、中心商業地と郊外店舗の目的地選択を上位階層で行う図4に示すネスティッドロジットモデルを用いる。このとき、各交通手段の効用関数は、交通一般化費用の他に、商業地の売場面積と商業駐車場の混雑率を考慮し、以下のように定式化する。

自動車(CBD)：

$$V_{C,k,CBD,s} = \theta_1 \cdot GC_{C,k,CBD} + \theta_2 \cdot S_{cf} + \theta_3 \cdot J_{CBD} + \theta_{CBD} \quad (13)$$

徒歩(CBD)：

$$V_{W,k,CBD,s} = \theta_1 \cdot GC_{W,k,CBD} + \theta_2 \cdot S_{cf} + \theta_{W,s} + \theta_{CBD} \quad (14)$$

鉄道(CBD)：

$$V_{T,k,CBD,s} = \theta_1 \cdot GC_{T,k,CBD} + \theta_2 \cdot S_{cf} + \theta_{T,s} + \theta_{CBD} \quad (15)$$

バス(CBD)：

$$V_{B,k,CBD,s} = \theta_1 \cdot GC_{B,k,CBD} + \theta_2 \cdot S_{cf} + \theta_{B,s} + \theta_{CBD} \quad (16)$$

ただし、 $V_{M,k,CBD,s}$ ：交通手段 $M$ で地点 $k$ から中心商業

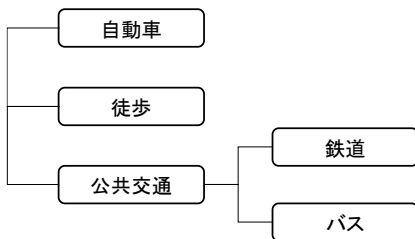


図3 通勤交通の交通手段選択におけるネスティッドロジットモデル

地へ買物に向かう場合の効用、 $GC_{M,k,CBD}$ ：交通手段 $M$ で地点 $k$ から中心商業地へ向かう場合の一般化費用、 $S_{cf}$ ：中心商業地の売場面積、 $J_{CBD}$ ：中心商業地の駐車場混雑率、 $\theta_2, \theta_3, \theta_{M,s}, \theta_{CBD}$ ：パラメータとする。

郊外店舗の効用関数は以下のように定式化する。

自動車(郊外店舗)：

$$V_{C,k,sub,s} = \theta_1 \cdot GC_{C,k,sub} + \theta_2 \cdot F + \theta_3 \cdot J_{sub} \quad (17)$$

徒歩(郊外店舗)：

$$V_{W,k,sub,s} = \theta_1 \cdot GC_{W,k,sub} + \theta_2 \cdot F + \theta_{W,s} \quad (18)$$

鉄道(郊外店舗)：

$$V_{T,k,sub,s} = \theta_1 \cdot GC_{T,k,sub} + \theta_2 \cdot F + \theta_{T,s} \quad (19)$$

バス(郊外店舗)：

$$V_{B,k,sub,s} = \theta_1 \cdot GC_{B,k,sub} + \theta_2 \cdot F + \theta_{B,s} \quad (20)$$

ただし、 $V_{M,k,sub,s}$ ：交通手段 $M$ で地点 $k$ から郊外店舗へ買物に向かう場合の効用、 $GC_{M,k,sub}$ ：交通手段 $M$ で地点 $k$ から郊外店舗へ向かう場合の一般化費用、 $F$ ：郊外店舗の売場面積、 $J_{sub}$ ：郊外店舗の駐車場混雑率とする。

交通手段・目的地の選択確率と、各交通機関を利用した場合の交通費用から、地点 $k$ における平均交通費用 $C_k$ 、平均交通一般化費用 $GC_k$ が次の式により求められる。このとき、すべての住民が自動車を利用可能としていることから、交通手段の選択結果に関わらず自動車維持費用 $C_F$ が発生する。

$$C_k = C_F + \sum_{k_2} P_{k,k_2} \cdot (P_{C,k,k_2} \cdot cost_{C,k,k_2} + P_{W,k,k_2} \cdot cost_{W,k,k_2} + P_{T,k,k_2} \cdot cost_{T,k,k_2} + P_{B,k,k_2} \cdot cost_{B,k,k_2}) \quad (21)$$

$$GC_k = C_F + \sum_{k_2} P_{k,k_2} \cdot (P_{C,k,k_2} \cdot GC_{C,k,k_2} + P_{W,k,k_2} \cdot GC_{W,k,k_2} + P_{T,k,k_2} \cdot GC_{T,k,k_2} + P_{B,k,k_2} \cdot GC_{B,k,k_2}) \quad (22)$$

ただし、 $C_k$ ：地点 $k$ における交通費用代表値、

$C_F$ ：自動車維持費用、 $cost_{M,k,k_2}$ ：交通手段 $M$ で地点 $k$ から目的地 $k_2$ へ向かう場合の交通費用、 $GC_k$ ：地点 $k$ における平均一般化費用代表値、 $P_{k,k_2}$ ：地点 $k$ における目

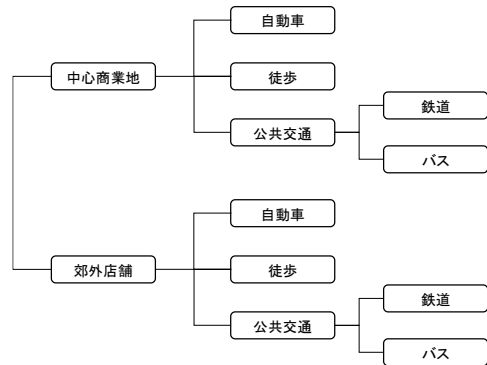


図4 買物交通の交通手段選択におけるネスティッドロジットモデル

的地 $k_2$ の選択確率,  $GC_{M,k,k_2}$ : 交通手段 $M$ で地点 $k$ から目的地 $k_2$ へ向かう場合の一般化費用とする。

### (3) 家計の行動

各家計は制約条件の下, 効用最大化行動をとり, 地点 $k$ における家計の行動は以下のように定式化される。

$$U_{h,k} = V_{h,k} + \varepsilon_{h,k} \rightarrow \max \quad (23)$$

$$V_{h,k} = Z_{h,k} \psi_1 \cdot A_k \psi_2 \cdot \left(\frac{1}{GC_k}\right)^{\psi_3} \quad (24)$$

$$s. t. W = Z_{h,k} + R_{h,k} \cdot A_k + C_k \quad (25)$$

$$\psi_1 > 0, \psi_2 > 0, \psi_3 > 0 \quad (26)$$

ただし,  $U_{h,k}$ : 家計の効用,  $V_{h,k}$ : 家計の効用の確定項,  $\varepsilon_{h,k}$ : 家計の効用の誤差項,  $Z_{h,k}$ : 家計の一般財消費額,  $A_k$ : 1人あたり占有床面積,  $GC_k$ : 平均一般化費用代表値,  $W$ : 家計の賃金,  $R_{h,k}$ : 床面積あたり家賃,  $C_k$ : 交通費用代表値,  $\psi_1, \psi_2, \psi_3$ : パラメータとする。

ここで誤差項 $\varepsilon_{h,k}$ がガンベル分布に従うと仮定すると, 家計が居住地として地点 $k$ を選択する確率 $PL_k$ は, パラメータ $\sigma$ を用いて, 以下のロジットモデルで表される。

$$PL_k = \frac{\exp(\sigma V_{h,k})}{\sum_i \exp(\sigma V_{h,i})} \quad (27)$$

また, 最大化問題を解くことで, 1人あたり占有床面積 $A_k$ は以下の式のように床面積あたり家賃 $R_{h,k}$ の関数として表される。

$$A_k = \frac{\psi_2 \cdot W}{(\psi_1 + \psi_2 - \psi_3) \cdot R_{h,k}} \quad (28)$$

これと各地点の人口から, 各地点における家計の床面積需要量が得られる。

### (4) 商業立地者の行動

商業立地者は利潤最大化行動をとり, その利潤は商業による利潤と商業駐車場による利潤の合計とする。なお, 本研究においては, 中心商業地内のすべての店舗・商業駐車場を集計し, 1つの商業立地者が行動するものと考ええる。

商業立地者は, 店舗床面積 $S_f$ のうち一定割合を売場面積 $S_{cf}$ として利用し, 商業売上 $Sales_c$ については, 売場面積の規模による収穫逓増の効果を考慮した売上関数に従うものとする。

$$S_{cf} = p_{cf} \cdot S_f \quad (29)$$

$$Sales_c = \alpha_1 \cdot n \cdot S_{cf}^{\alpha_2} \quad (30)$$

ただし,  $S_{cf}$ : 売場面積,  $p_{cf}$ : 売場面積割合,  $S_f$ : 店舗床面積,  $Sales_c$ : 中心商業地の商業売上,  $n$ : 中心商業地の日來客数,  $\alpha_1, \alpha_2$ : パラメータとする。

商業に関する費用については, 売上原価・人件費・店

舗賃料に分類し定式化する。売上原価については, 売上高の一定割合の額とし, 従業員数 $N$ は商業売上より算出する。

$$Cost_c = cp \cdot Sales_c + ws \cdot N + R_c \cdot S_f \quad (31)$$

ただし,  $Cost_c$ : 商業に関する費用,  $cp$ : 売上原価率,  $ws$ : 従業員1人あたり人件費,  $N$ : 中心商業地の従業員数,  $R_c$ : 床面積あたり店舗賃料とする。

商業駐車場については, 自動車での来客者数に駐車料金を乗じた値を売上とし, 駐車場賃料を費用とする。そして, 商業立地者の利潤最大化問題を解くことにより, 中心商業地における店舗床面積需要量と商業駐車場需要量を求められる。

また, 都市内に4箇所存在する郊外店舗は, それぞれの店舗について, 商業売上と商業費用を中心商業地と同様に算出する。なお, 郊外店舗に関しては, 店舗床面積と商業駐車場面積は一定とする。

### (5) 開発者の行動

開発者は, 土地と資材をもとに建物床を生産し, 住宅地開発者は家計に住宅床を, 商業地開発者は商業立地者に店舗床をそれぞれ供給する。地点 $k$ において, 開発者 $l$ は以下に示すような利潤 $\pi_{l,k}$ と生産関数の下, 利潤最大化行動をとるものとする。

$$\pi_{l,k} = R_{l,k} \cdot F_{l,k} - p_{l,k} \cdot K_{l,k} - RL_{l,k} \cdot L_{l,k} \rightarrow \max \quad (32)$$

$$s. t. F_{l,k} = K_{l,k}^{a_l} \cdot L_{l,k}^{1-a_l} \quad (33)$$

ただし,  $\pi_{l,k}$ : 開発者の利潤,  $R_{l,k}$ : 床面積あたり賃料,  $F_{l,k}$ : 建物床供給量,  $p_{l,k}$ : 資材価格,  $K_{l,k}$ : 資材投入量,  $RL_{l,k}$ : 地代,  $L_{l,k}$ : 土地投入量,  $a_l$ : パラメータとする。

この最大化問題を解くことにより, 以下のように各地点の最適容積率 $I_{l,k}^*$ および付け値地代が, 床面積あたり賃料の関数として求められる。このとき, 容積率規制値 $\hat{I}_{l,k}$ を考慮する。

$$I_{l,k}^* = \left(\frac{a_l \cdot R_{l,k}}{p_{l,k}}\right)^{\frac{a_l}{1-a_l}}, \quad I_{l,k}^* \leq \hat{I}_{l,k} \quad (34)$$

$$RL_{l,k} = R_{l,k}^{\frac{1}{1-a_l}} \cdot p_{l,k}^{\frac{-a_l}{1-a_l}} \cdot \left(a_l^{\frac{a_l}{1-a_l}} - a_l^{\frac{1}{1-a_l}}\right) \quad (35)$$

商業駐車場は, 平面駐車場を想定するため, 土地面積と床面積は同一となる。床面積あたり商業駐車場賃料については, 地代に駐車場建設費等に相当する一定額を加えた値とする。

### (6) 土地供給者の行動

土地供給者は, 各地点の平均地代に応じて土地の供給面積を決定する。地点 $k$ における土地供給者の行動は, 大橋ら<sup>17)</sup>のモデルを参考に, 以下のように定式化する。

なお、CBD 外においては家計のみが立地するため、平均地代は住宅地代に一致する。

$$S_k = L_{0k} \cdot \left(1 - \frac{\kappa}{RL_k}\right) \quad (36)$$

ただし、 $S_k$  : 土地供給面積、 $L_{0k}$  : 供給可能土地面積、 $RL_k$  : 平均地代、 $\kappa$  : パラメータとする。

### (7) CBD における家計・商業の立地競合

CBD 内においては、家計と商業立地者の 2 主体が立地することにより競合が発生する。住宅地開発者・商業地開発者への土地供給面積は、供給される土地に対する付け値競争により決定する。このとき、CBD 平均地代  $RL_{CBD}$  と各開発者の付け値地代  $RL_{l,CBD}$  との関係は、尹ら<sup>18)</sup>のモデルを利用し、以下の式のように表される。なお、商業地開発者への土地供給面積は店舗への供給面積と商業駐車場への供給面積の合計とし、店舗地代と商業駐車場地代は同一とする。

$$RL_{l,CBD} = \delta_{l1} \cdot RL_{CBD}^{\delta_{l2}} \cdot \left(\frac{S_{l,CBD}}{S_{h,c}}\right)^{\delta_{l3}} \quad (37)$$

ただし、 $RL_{l,CBD}$  : CBD 内における開発者  $l$  の地代、 $RL_{CBD}$  : CBD 平均地代、 $S_{l,CBD}$  : CBD 内における開発者  $l$  への土地供給面積、 $\delta_{l1}$ 、 $\delta_{l2}$ 、 $\delta_{l3}$  : 開発者  $l$  についてのパラメータである。

### (8) 均衡条件

解の算出にあたっては、図-5 に示すように、交通モデルと土地利用モデルの計算を各地点の地代が収束するまで繰り返し行う。

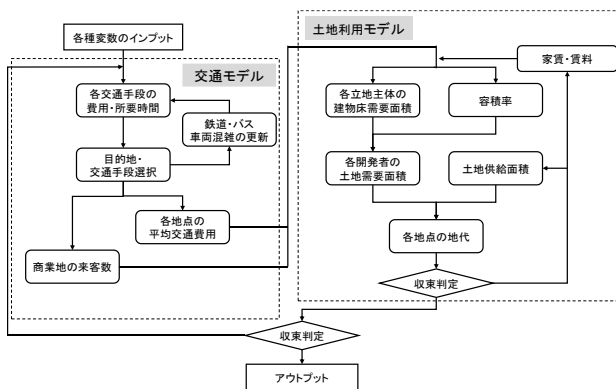


図-5 交通モデル・土地利用モデルのフロー

土地利用モデルにおいては、まず家賃・賃料および地代の初期値から容積率と各立地主体の建物床需要面積を算出し、建物床市場の均衡条件から各開発者の土地需要面積を求める。また、地代から土地供給面積を算出し、土地市場の均衡条件から付け値地代を算出する。この付け値地代は、CBD 内では付け値地代の CBD 平均値、

CBD 外では住宅地開発者の付け値地代となる。CBD 内の各開発者の付け値地代は、付け値地代の代表値をもとに算出する。そして、各開発者の付け値地代から家賃・賃料を算出し、以降、各地点の地代が収束するまで繰り返し計算する。

## 3. 都市構造の再現結果および将来の推計

### (1) 変数の決定

数値シミュレーションの実行にあたっては、土地を 400m 四方のメッシュ単位に分割し、メッシュの中心点ごとに計算を行う。分析の対象都市は、中規模の地方を想定し、都市人口は 30 万人とする。表-1 に示す外生変数の設定値には、各種統計調査などから算出した人口 30 万人規模の地方都市における平均的な値を採用する。なお、式(1)の変数には、井上ら<sup>19)</sup>の値を採用している。また、実データから算出することが困難である、家計の効用パラメータ、家計の立地選択パラメータ、交通手段の効用パラメータについては、3 段階のキャリブレーションにより値を設定する。第 1 段階として、家計の効用パラメータ  $\psi_1$ 、 $\psi_3$  と家計の立地選択確率パラメータ  $\sigma$  を対象に、値を少しずつ変化させる。それぞれの変数の組み合わせのうち、計算結果として得られる都市中心点からの距離帯ごとの人口と、人口 25~35 万人の地方都市の平均値との残差平方和が最も小さい値を選択する。第 2 段階として、交通手段選択・目的地選択に関わるパラメータ  $\theta_2$ 、 $\theta_3$ 、 $\theta_{CBD}$  を対象に、値を少しずつ変化させる。それぞれの変数の組み合わせのうち、計算結果として得られる中心商業地の売場面積、中心商業地の来客数、都市中心からの距離帯ごとの人口について、同様に残差平方和が最も小さい値を選択する。第 3 段階として、残りの交通手段の効用パラメータを対象に、値を少しずつ変化させる。それぞれの変数の組み合わせのうち、計算結果として得られる通勤交通および買物交通の自動車・徒歩・鉄道・バスの交通手段分担率について、実都市の数値を目標値とした誤差率を算出し、この誤差率の二乗和が最小となるものを選択する。以上で述べた手順を、変数値が収束するまで繰り返し、変数を決定する。

### (2) 現状の都市構造再現結果

(1) で述べたシミュレーションの設定を、2015 年における仮想都市の設定とし、図-6 に人口密度の分布を示す。また、平均交通一般化費用の分布を図-7 に示す。

次に、2015 年における仮想都市のシミュレーション結果について、実都市との比較し、その再現性を確認する。都市中心からの距離帯別人口分布を、実都市の人口分布と合わせて図-8 に示す。両者の相関係数は高く、人口分布の再現性に問題はないと考えられる。

また、交通目的別の交通手段分担率の比較を表-2 に示す。こちらも概ね実都市の分担率と一致しており、再現性に問題はないと考えられる。

表-1 外生変数一覧

変数名	単位	設定値	出典
トリップ頻度(通勤)		トリップ/人・日 0.99	平成27年PT調査
トリップ頻度(買物)		トリップ/人・日 0.62	平成27年家計調査
賃金	W	円 5,928	平成27年家計調査
幹線道路日交通容量	c	台/日 36,960	国土技術政策総合研究所資料より
単位自由旅行時間	T0	分/km 1.48	
リンクコスト関数	$\eta_1$	- 1	井上ら19)の研究より
パラメータ	$\eta_2$	- 2	
距離あたり自動車費用	Pc	円/km 9.1	
自動車維持費用	CF	円/日 706.3	小売物価統計調査
中心商業地駐車費用(通勤)		円/日 482	
中心商業地駐車費用(買物)		円/日 200	標準的な値を設定
郊外型店舗駐車場代		円 0	
時間あたり鉄道運行本数		本/時間 1.70	JTB時刻表
鉄道初乗り運賃		円 127.5	小売物価統計調査
距離あたり鉄道運賃		円/km 10.4	
バス運行頻度(路線1,2,3)		本/時間 3.38	国土数値情報 平成23年
バス運行頻度(路線4,5)		本/時間 1.45	バスルートデータ
バス運行頻度(路線6,7)		本/時間 2.23	
バス初乗り運賃		円 165.0	小売物価統計調査
距離あたりバス運賃		円/km 30.4	
鉄道速度		km/時間 40	標準的な値を設定
徒歩速度		km/時間 4	
交通手段・目的地選択パラメータ	$\theta_1$	- -0.001	キャリブレーションにより決定
	$\theta_2$	- 0.00001	
	$\theta_3$	- -0.001	
	$\theta_{W,w}$	- -0.1	
	$\theta_{W,s}$	- -0.4	
	$\theta_{T,w}$	- -0.6	
	$\theta_{T,s}$	- -1.8	
	$\theta_{B,w}$	- -1.9	
	$\theta_{B,s}$	- -2.4	
	$\theta_{CBD}$	- -1.4	
家計の効用パラメータ	$\psi_1$	- 1.14	
	$\psi_2$	- 0.179	
	$\psi_3$	- 0.60	
家計の立地選択パラメータ	$\sigma$	- 0.05	
	$\alpha_1$	- 1,626.6	中心市街地活性化基本計画
商業売上パラメータ	$\alpha_2$	- 0.108	平成21年家計調査
	sc	円/人 5,686.0	
臨界地代	$\kappa$	円 3.61	平成24年地価公示・都道府県地価調査
売上原価率	cp	% 72.28	平成20年法人企業統計
従業員1人あたり人件費	ws	円/人・日 8,711.4	平成21年賃金構造基本統計調査
建物資材価格(住宅)	ph	- 32.16	平成22年公示地価データ
建物資材価格(店舗)	ps	- 68.95	平成20年住宅土地統計調査
開発者パラメータ(住宅)	ah	- 0.75	平成21年小売物価統計調査
開発者パラメータ(店舗)	as	- 0.88	HOME'S買賃
容積率規制値(住宅地)	l'h	% 200	標準的な値を設定
駐車場建設費等	pc	円/m <sup>2</sup> ・日 2.74	東京都道路整備保全公社
道路用地面積割合		% 26	大庭ら8)の研究より
その他用地面積割合		% 35	
住宅地面積割合	$\xi$	% 42.0	第57回日本統計年鑑
競合モデルパラメータ(家計)	$\delta h_1$	- 1.275	伊ら18)の研究より
	$\delta h_2$	- 0.925	
	$\delta h_3$	- 0.143	
競合モデルパラメータ(商業)	$\delta s_1$	- 1.621	
	$\delta s_2$	- 1.195	
	$\delta s_3$	- 0.088	

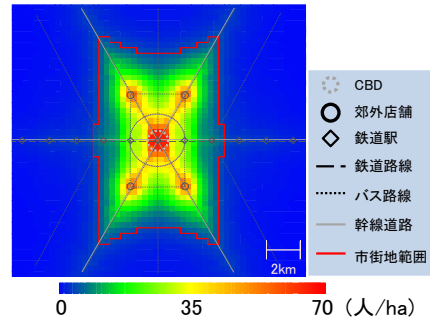


図-6 人口密度分布 (2015年)

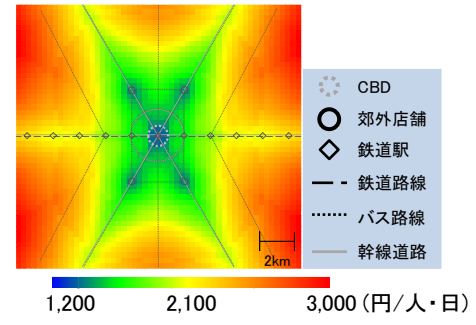


図-7 平均交通一般化費用 (2015年)

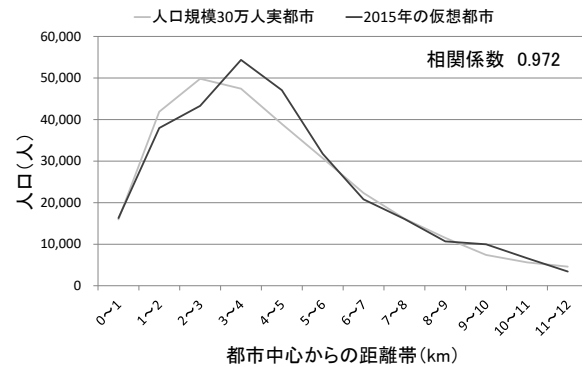


図-8 距離帯ごとの人口分布と実都市との比較

表-2 目的別交通分担率と実都市との比較

目的	交通手段	実都市の分担率	シミュレーション結果
通勤	自動車	67.12%	67.52%
	徒歩	25.77%	25.13%
	鉄道	3.79%	3.98%
	バス	3.33%	3.37%
買物	自動車	77.20%	76.58%
	徒歩	19.07%	19.77%
	鉄道	0.92%	0.88%
	バス	2.81%	2.76%
合計	自動車	72.51%	71.01%
	徒歩	22.19%	23.07%
	鉄道	2.26%	2.79%
	バス	3.05%	3.14%

(3) 将来推計時の設定

本研究では、2015年から2045年まで、5年ごとにシミュレーションを行い、本項では将来推計に関する設定を行う。(2)の現状再現では、全ての家計が立地配分の対象であったが、2015年以降では、転居しない家計を固定層、転居する家計を浮動層と定義する。また、人口減少も考慮し、図-11の通りに転出と転入を計算する。浮動層の割合は令和2年国勢調査<sup>20</sup>より32.24%とし、都市の総人口は国立社会保障・人口問題研究所がコーホート要因法を用いて算出した地域別将来推計人口<sup>21</sup>を用い、人口の減少率を5年ごとに算出する。この設定により、本モデルで考慮出来ないこととして以下の2つがある。

- 浮動層割合は全地域で一律であり、施策による影響を受けないこと。実際に施策を行った場合、郊外の住民の転居が増加することが考えられる。
- 人口減少割合を外生的に与えており、仮想都市の総人口は施策の影響を受けないこと。実際に施策を行った場合、都市外からの転居により人口減少が抑えられることが考えられる。

また、表-1の外生変数は将来推計でも同様の値を用いるが、将来の人口減少に伴い、鉄道、バスの運行頻度はそれぞれ駅勢圏人口、バス停勢圏人口に応じて減少するとする。また、郊外店舗床面積は2015年では50,000m<sup>2</sup>であるが、5年で95%に減少すると設定する。

(4) 将来のシミュレーション結果

2045年では、図-9で示すように、郊外の幹線道路沿いで交通一般化費用が大きく減少しており、人口減少に伴う幹線道路の混雑緩和が要因だと考えられる。また、鉄道沿線では、鉄道の運行頻度減少に伴い、他の幹線道路沿いより一般化費用の減少量は少なくなっている。次に、人口分布の変化について考察する。2015年から2045年にかけて、都市の総人口は2015年の80.53%まで減少する。各メッシュの人口減少率(2045年の人口/2015年の人口)を算出し、都市の総人口の減少率との差分を取り、図-10に示す。交通一般化費用が大きく減少した郊外の幹線道路沿いでは転入が多く、中心部では転出が多いと解釈できる。なお、CBD内では転入が多くなっているが、これはCBD内では住宅地と商業地の競合が起こるが、

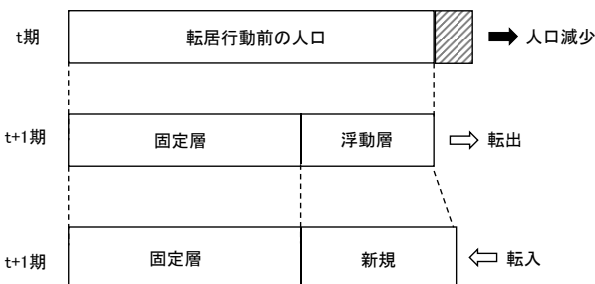


図-11 家計の転居行動と人口減少の概念図

2015年以降では商業地が縮小し、家賃が低下したためだと考えられる。

4. 居住誘導施策による都市構造の変化および便益と費用に関する分析

(1) 施策および便益の設定

本研究では、居住誘導施策を表-3の通りに設定する。住宅補助施策では、1世帯に年間10万円を5年間支給することを想定し、1人あたりの補助金額を115.1円/日と設定する。

本研究では、人口誘導効果、交通手段分担率、純現在価値・財政収支の観点から、表-4に示す指標により施策を評価する。純現在価値・財政収支について、まず、1日あたりの各便益を、商業事業者と公共交通事業者の利潤に加え、表-5の通り算出する。次に、表-6の通りに便益の帰着構造を整理し、社会的純便益と財政収支を算出したのち、2015年~2045年の30年間の純現在価値と財政収支に換算する。なお表-6の便益の正負は、分析結果とは異なる可能性がある。

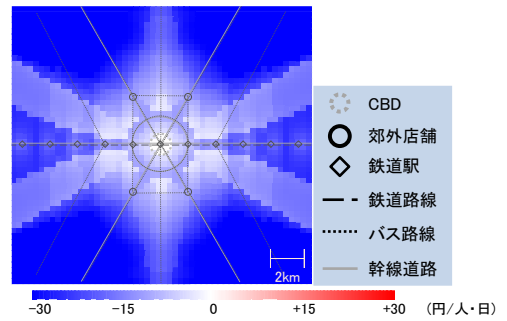


図-9 2015年と2045年の交通一般化費用差分

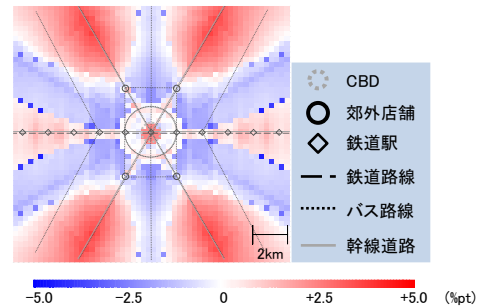


図-10 各メッシュの人口減少率と都市全体の人口減少率の差分(2045年)

表-3 本研究で設定する居住誘導施策

施策名	概要	行政の費用	備考
住宅補助	居住誘導区域外から区域内へ転居する住民に補助金支給	補助金支給額の合計	所得//に補助金額を追加(式(25))

(2) 施策の分析結果

住宅補助施策の 2045 年における居住誘導区域と公共交通勢圏人口割合は図-12 に示す通りであり、誘導効果が見られた。次に、2045 年における施策による交通分担率の変化は表-7 に示す通りで、自動車から公共交通への転換が見られた。

最後に、住宅補助施策の財政収支および純現在価値を図-13 に示す。純現在価値は正となり、経済的に効率の良い施策である一方、財政収支は大きなマイナスとなった。

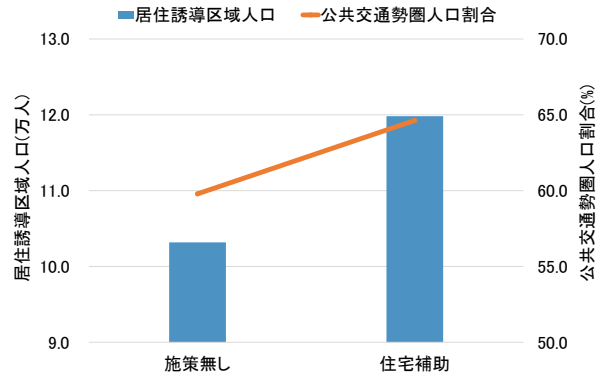


図-12 住宅補助施策による人口誘導効果 (2045 年)

表-4 施策の評価項目

評価項目	備考
居住誘導区域人口 ・ 公共交通勢圏人口割合	居住誘導区域は2015年の人口密度および公共交通勢圏から決定。駅勢圏は800m, バス停勢圏は500m.
交通手段分担率	自動車・徒歩・鉄道・バス
財政収支 ・ 純現在価値	5年ごとの算出結果を線形を仮定して各年の値を算出。純現在価値は社会的割引率4%として算出。

表-7 住宅補助施策による交通分担率の変化 (2045 年)

施策またはパッケージ施策	交通手段分担率 (%)			
	自動車	徒歩	鉄道	バス
施策無し	71.54	22.82	2.58	3.06
住宅補助	70.55	23.67	2.58	3.21
施策による変化	-0.99	0.85	-0.01	0.15

表-5 各便益の算出方法

項目名	算出方法	受益者
交通時間削減効果	交通一般化費用より算出	家計
交通費用削減効果	交通一般化費用より算出	家計
インフラ維持コスト削減効果	道路・上下水道を対象に、2015年人口より敷設量を算出。人口密度1.0人/ha以下で維持費0として算出	行政
健康増進効果	都市内の徒歩総移動距離より算出	家計・行政
自動車利用減少による税収減	都市内の自動車総移動距離より算出	行政
環境負荷削減効果	都市内の自動車総移動距離および鉄道・バスの輸送人キロより算出	家計
家賃の増加	モデルより算出	土地供給者
固定資産税・都市計画税の増加	地代から固定資産税評価額を求め、それぞれの税率を用い算出	行政
法人税等の増加	商業利益より算出	行政

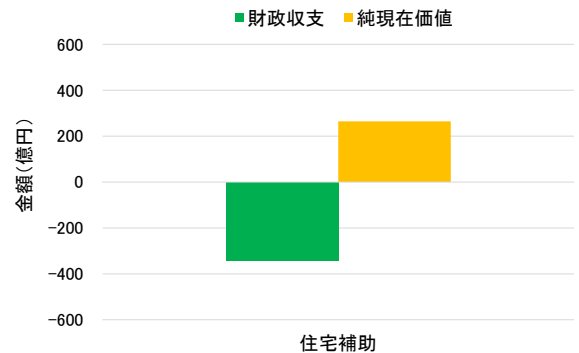


図-13 財政収支および純現在価値 (住宅補助施策)

表-6 便益帰着構成表 (住宅補助施策)

	家計(住民)	商業事業者	土地供給者	交通事業者	行政	合計
交通時間削減効果	+					+
交通費用削減効果	+					+
インフラ維持コスト削減効果					+	+
健康増進効果	+				+	+
自動車利用減少による税収減					-	-
環境負荷削減効果	+					+
交通事業者の利潤変化				-		-
交通事業者への赤字補填				+	-	0
商業利益増加		+				+
法人税等の税収増		-			+	0
CBD商業地の固定資産税増加		-			+	0
固定資産税・都市計画税の増加	-				+	0
家賃の増加	-		+			0
家計への補助金支出	+				-	0
合計	+	+	+	0	財政収支	社会的純便益

便益 +  
費用 -

## 5. 本研究のまとめ

本研究では、人口減少下において、居住誘導施策が都市構造に与える影響や施策による便益ならびに財政収支を定量的に明らかにし、施策を評価することを目的として、家計の転居行動を考慮した土地利用・交通モデルを構築し、シミュレーション分析をした。

居住誘導施策の1つとして、住宅補助施策を設定し、分析した結果、住宅補助施策によって都市の集約化と自動車から公共交通への転換が生じることを示した。また、純現在価値が正となり、経済的に効率の良い施策であること、財政収支は大きなマイナスとなることを明らかにした。

### 参考文献

- 1) 国土交通省：国土のグランドデザイン 2050 対流促進型国土の形成，  
<https://www.mlit.go.jp/common/001047113.pdf>，（最終閲覧 2023.1.2）
- 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](https://www.mlit.go.jp/en/toshi/city_plan/compactcity_network2.html)，（最終閲覧 2023.1.2）
- 3) 井上拓央，真鍋陸太郎，村山顕人，大方潤一郎：計画意図・内容と論点からみた立地適正化計画の意義と課題 計画案に対するパブリックコメントの分析から，都市計画報告集，Vol.17，pp.283~288，2018。
- 4) 箸本健二，武者忠彦，菊池慶之，久木元美琴，駒木伸比古，佐藤正志：立地適正化計画に対する地方自治体からの政策評価と課題認識—全国 332 市町村へのアンケート調査から—，人文地理学会大会 研究発表要旨 2019 年，pp. 82-83，2019。
- 5) 高橋美保子，出口敦：コンパクトシティ形成効果の費用便益評価システムに関する研究，都市計画論文集，Vol.42，No.3，pp.487~492，2007。
- 6) 松縄暢，藤田朗：居住誘導施策の費用便益分析 大都市圏郊外部におけるケーススタディ，都市計画論文集，Vol.52，No.3，pp.467~474，2017。
- 7) 杵澤隆司：コンパクトシティが都市財政に与える影響—標準距離による検証—，都市在宅学，Vol.95，pp.142~150，2016。
- 8) 大庭哲治，松中亮治，中川大，尹鍾進，牧野夏樹：中心市街地の空間配分を考慮した公共交通利便性が都市構造に及ぼす影響に関する研究，都市計画論文集，Vol.47，No.1，pp.9~16，2012。
- 9) 竹間美夏，佐藤徹治：立地適正化計画に基づく居住誘導施策検討のための都市内人口分布推計手法の開発 愛知県豊橋市を対象として，都市計画論文集 Vol.52，No.3，pp.1124-1129，2017。
- 10) 杉本達哉，神永希，加藤秀弥，高森秀司，佐藤徹治：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（土木計画学），Vol.74，No.5，pp.I\_439-I\_451，2018。
- 11) 秀島栄三，金子孝輔，中居楓子：コンパクトシティ・プラス・ネットワーク施策に関するモデル分析，土木計画学研究発表会・講演集，Vol.65，NO.1168，2022。
- 12) 国土交通省：時間価値原単位および走行費用原単位（平成 20 年価格）の算出方法，  
<https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/hyouka-syuhou/4pdf/s1.pdf>，（最終閲覧 2023.2.27）
- 13) 国土交通省鉄道局：鉄道プロジェクトの評価手法マニュアル 2005，p.112，2005。
- 14) 松中亮治，谷口守，端戸祐樹：バスプローブデータを用いた一般車両走行速度に関する研究，土木計画学研究・論文集，No.23，no.4，pp.871-877，2006。
- 15) 小林和志：細分化した地域メッシュを用いた都市内交通シミュレーションによる交通施策の評価，京都大学大学院都市社会工学専攻修士論文，2015。
- 16) 内閣府 地方創生：認定された中心市街地活性化基本計画，  
<https://www.chisou.go.jp/tiiki/chukatu/nintei.html>，（最終閲覧 2023.2.27）
- 17) 大橋健一，青山吉隆：土地政策からみた地域の開発効果の計量化に関する研究，土木計画学研究・講演集 No.11，pp.391-397，1988。
- 18) 尹鍾進，青山吉隆，中川大，松中亮治：立地変動を考慮した実用的な土地利用・交通モデルの構築。土木計画学研究・論文集，No.17，pp.247-256，2000。
- 19) 井上紳一，中村毅一郎，森田緯之，松井浩，森尾淳：首都圏における BPR 関数の推定，土木計画学研究・講演集，Vol.29，pp.106-107，2004。
- 20) 総務省統計局：令和 2 年国勢調査，  
<https://www.stat.go.jp/data/kokusei/2020/index.html>，（最終閲覧 2022.11.12）
- 21) 国立社会保障・人口問題研究所：男女・年齢（5 歳）階級別データ『日本の地域別将来推計人口』（平成 30（2018）年推計），2018，  
<https://www.ipss.go.jp/pp-shicyoson/j/shicyoson18/3kekka/Municipalities.asp>，（最終閲覧 2022.10.24）

(Received ?? ?? ????)

Evaluation of location normalization plan using land use-transport interaction model

Fuki SHIMOGISHI, Nobuhiro UNO, Ryoji MATSUNAKA and Kosuke TANAKA