

# 都市構造のコンパクト化施策が 将来の都市内人口分布へ与える影響分析

杉本 達哉<sup>1</sup>・神永 希<sup>2</sup>・加藤 秀弥<sup>3</sup>・高森 秀司<sup>4</sup>・佐藤 徹治<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 八千代エンジニアリング株式会社 (〒111-8648 東京都台東区浅草橋5-20-8)  
E-mail:tt-sugimoto@yachiyo-eng.co.jp

<sup>2</sup>正会員 八千代エンジニアリング株式会社 (〒111-8648 東京都台東区浅草橋5-20-8)  
E-mail:kaminaga@yachiyo-eng.co.jp

<sup>3</sup>非会員 八千代エンジニアリング株式会社 (〒111-8648 東京都台東区浅草橋5-20-8)  
E-mail:sh-kato@yachiyo-eng.co.jp

<sup>4</sup>正会員 八千代エンジニアリング株式会社 (〒540-0001 大阪府大阪市中央区城見1-4-70)  
E-mail:takamori@yachiyo-eng.co.jp

<sup>5</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

本稿では、都市構造のコンパクト化施策が将来の都市内人口分布に与える影響を分析することを目的に、①理論モデルの構築、②実証モデルの構築、③数値シミュレーションを行った。理論モデルは、人口分布推計の精度を高めるために、住宅立地主体の属性を世帯主年齢階層別世帯とし、転居需要が内生的に決定されるものとした。実証モデルは、富山市都市圏内の979ゾーンを対象に2000年次のデータを用いて構築を行い、2005年・2010年時点において良好な再現性を確認した。数値シミュレーションでは、鉄道駅周辺への立地に対して助成金を付与する施策について分析を行った結果、地代に対する感度の高いゾーンが用途地域指定地域に存在する場合、助成金付与に条件を設けるなどの配慮が必要である等の示唆を得た。

**Key Words :** *distribution of population, compact city, location equilibrium*

## 1. はじめに

近年、わが国においては急速な人口減少・高齢化が進行している。これに伴い市街地の低密度化・空洞化は一層進行すると予想され、都市経済の衰退や公共交通の衰退、行政コストの増大など、様々な問題が生じることが懸念されている。これらの問題に対して、国は『コンパクト+ネットワーク』を基本的な考え方として<sup>1)</sup>、人口減少・高齢化等の制約の下、国全体の生産性を高めていくことを掲げている。さらに国はそれらを実現するための方策の一つとして、立地適正化計画制度を創設した。同計画は、居住機能や福祉・医療・商業等の都市機能の誘導、公共交通の充実によりコンパクトシティ形成を図るものであり、誘導のための区域や、誘導する施設の種類を定めることを必須事項としており、コンパクトシティ形成のための具体的な計画となっている<sup>2)</sup>。

居住機能や都市機能の誘導、公共交通の充実といった都市構造のコンパクト化施策の実施にあたっては、これらの施策がコンパクト化（人口分布の集約

化）に与える影響を定量的に分析・評価することが望まれる。この際、転居が生じるには時間を要することから、施策と人口分布の関連を時系列で捉えることが必要と考える。また、転居行動にはライフステージが影響していると思われるため、立地主体の設定にはそれらを考慮する必要があると考える。

一方、都市構造のコンパクト化に関する既往研究をみると、その有用性を示した研究は多くみられるものの<sup>3)~6)</sup>、施策が人口分布に与える影響について分析がされている研究はあまり見られない。一部、人口分布を内生的に扱い、都市構造のコンパクト化を分析している研究はみられるが<sup>7),8)</sup>、時系列やライフステージを考慮した内容となっていない。

本稿では、都市構造のコンパクト化施策が将来の都市内の人口分布に与える影響を分析することを目的とする。このために、時系列やライフステージ（世帯主年齢）を考慮した杉本ら（2016）<sup>9)</sup>の理論モデルを若干改良した上で、実証モデルを構築する。さらに、数値シミュレーションを実施し、施策が将来の都市内の人口分布に与える影響を分析する。

## 2. 理論モデルの構築

本稿では杉本ら (2016) <sup>9)</sup> のモデルを一部改良することにより理論モデルを構築する。モデルの内容について以下に示す。

### (1) モデルの概要

本モデルの全体構成は図-1 に示すとおりである。世帯総数は全体世帯数決定モデルにより算出する。世帯分布は、転居意思決定モデル（都市内転居モデル・都市外転居モデル）、立地均衡モデルにより算出する。モデル構築にあたっての仮定を以下に示す。

- ◇ 対象圏域は同一都市圏に含まれる市町村群として、複数のゾーンに分割されている。
- ◇ 各ゾーン内の施設へのアクセシビリティや地代等の価格は均質とする。
- ◇ 経済主体は、世帯属性別（世帯主年齢別）の「家計」と、「不在地主」の2主体とする。
- ◇ 家計は、都市外転居の意思決定を行った上で、都市内転居の意思決定を行う。また、都市内の転居先選択に際し、効用最大化行動を行う。
- ◇ 不在地主は利潤最大化行動を行う。
- ◇ 市場は土地市場のみを考える。
- ◇ 対象圏域内の転居先は立地均衡モデルにより決定される。

### (2) 全体世帯数決定モデル

全体世帯数は、コーホート要因法による推計人口に世帯主率を乗じて世帯主年齢階層別に推計する。人口を式(1)-(3)、総世帯数を式(4)、純移動世帯数を式(5)に示す。

$$POP_{t+5}^{w+5} = POP_t^{w,m} \cdot (S^{w,m} + M^{w,m}) + POP_t^{w,f} \cdot (S^{w,f} + M^{w,f}) \quad (1)$$

ただし、 $w=0$  (0~4歳) の場合、

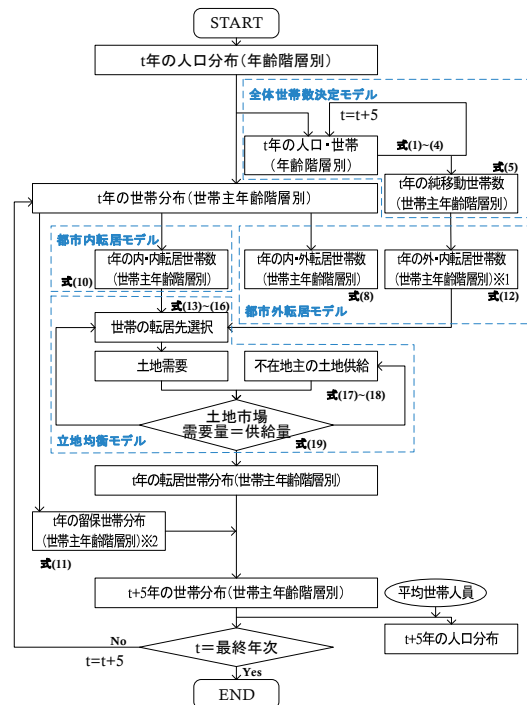
$$POP_t^{w,m} = \sum_{\mu} \left( POP_t^{\mu,m} \cdot f_{\mu} \cdot \frac{L}{100+L} \right) \quad (2)$$

$$POP_t^{w,f} = \sum_{\mu} (POP_t^{\mu,m} \cdot f_{\mu}) - POP_t^{w,m} \quad (3)$$

$$N_t^w = POP_t^{w,m} \cdot \dot{N}^{w,m} + POP_t^{w,f} \cdot \dot{N}^{w,f} \quad (4)$$

$$G_t^w = POP_t^{w,m} \cdot M^{w,m} \cdot \dot{N}^{w,m} + POP_t^{w,f} \cdot M^{w,f} \cdot \dot{N}^{w,f} \quad (5)$$

ここで、 $t$ ：期、 $w$ ：年齢階層（5歳階級別）、 $m$ ：男性、 $f$ ：女性、 $POP$ ：人口、 $M^w$ ：年齢階層 $w$ から年齢階層 $w+5$ にかけての純移動率、 $S^w$ ：年齢階層 $w$ から年齢階層 $w+5$ にかけての生残率、 $L$ ：出生性比、 $N$ ：世帯数、 $\dot{N}$ ：世帯主率、 $f_{\mu}$ ：年齢階層 $\mu$ における子ども女性性比、 $G$ ：純移動世帯数。



- ※内・内転居世帯数：対象圏域『内』に居住する世帯のうち、対象圏域『内』へ転居する世帯数
- ※内・外転居世帯数：対象圏域『内』に居住する世帯のうち、対象圏域『外』へ転居する世帯数
- ※外・内転居世帯数：対象圏域『外』に居住する世帯のうち、対象圏域『内』へ転居する世帯数
- ※1：純移動世帯数と内・外転居世帯数の合計
- ※2：世帯分布から内・内世帯数および内・外世帯数除いた分布

図-1 モデルの全体構成

### (3) 転居意思決定モデル

#### a) 都市外転居モデル

都市外への転居（内・外転居）は、奥村 (2015) <sup>10)</sup> を参考に、転居行動を「転出する・転出しない」の二者択一行動と捉え、その確率は二項分布に従うと仮定し、式(6)・(7)のように定式化する。

$$Prob(E_{j,t}^w | \lambda_{j,t}^w) = N_{j,t}^w C_{E_{j,t}^w} (\lambda_{j,t}^w)^{E_{j,t}^w} (1 - \lambda_{j,t}^w)^{N_{j,t}^w - E_{j,t}^w} \quad (6)$$

$$\log \left\{ \frac{\lambda_{j,t}^w}{1 - \lambda_{j,t}^w} \right\} = \varphi(Q^n) \quad (7)$$

ここで、 $Prob(E_{j,t}^w | \lambda_{j,t}^w)$ ：年齢 $w$ の世帯主における市町村 $j$ 全体での $t$ 年から $t+5$ 年にかけての都市外への転居率、 $E$ ：都市外への転居数、 $\lambda$ ：都市外への転居率、 $\varphi(\cdot)$ ：リンク関数、 $Q^n$ ：都市外転居の要因ベクトル。よって、内・外転居世帯数は式(8)のとおりとなる。

$$N_{out,t}^w = N_{t,t}^w \cdot \bar{S} \cdot \lambda_{j,t}^w \quad (8)$$

ここで、 $N_{out}$ ：内・外転居世帯数、 $\bar{S}$ ：世帯自然増減率（世帯の新規発生および消滅が生じる割合）。

**b) 都市内転居モデル**

都市内への転居（内・内転居）は、林ら（1987）<sup>11)</sup>を参考に、住宅需要を「住み替え潜在需要の発生」と「住み替え需要顕在化」の 2 段階で捉える。ここで、住み替え潜在需要とは、世帯のライフステージの進行等により、世帯属性と居住住宅属性とが適合しなくなり、住み替えるための新たな住宅を探索しようとする段階のことを指す。また、住み替え需要顕在化とは、住み替えに適した住宅が見つけれられ実際に行動に移す段階を指す。

具体的には、式(9)のように定式化する。式(9)のうち括弧内は住み替え潜在需要を示し、 $\omega(I')$ は住み替え需要顕在化を示す。

$$P'_{i,t}{}^w = \left( \frac{1}{1 + \exp(V_{i,t}^w + \tau_i^w)} \right) \cdot \omega(I'^n) \quad (9)$$

ここで、 $i$  : ゾーン、 $P'_{i,t}{}^w$  : ゾーン  $i$  の世帯主年齢階層  $w$  の世帯が内・内転居（都市内転居）を行う確率、 $V$  : 間接効用、 $\tau$  : 間接効用以外の地域（ゾーン）の魅力度を示す項目、 $\omega(\cdot)$  : 需要が顕在化することを表現する関数、 $I'^n$  : 住み替え需要顕在化の要因ベクトル。

よって、内・内転居世帯数は式(10)のとおりとなる。

$$N'_{i,t}{}^w = N_{i,t}^w \cdot \bar{S}^w (1 - \lambda_{i,t}^w) \cdot P'_{i,t}{}^w \quad (10)$$

ここで、 $N'$  : 内・内転居世帯数。

**c) 留保世帯数および外・内転居世帯数**

以上から、留保世帯数 $\hat{N}$ は式(11)のようになる。

$$\hat{N}_{i,t}^w = N_{i,t}^w \cdot \bar{S}^w - (N'_{i,t}{}^w + N_{out,i,t}^w) \quad (11)$$

また、都市外から都市内への転居（外・内転居）世帯数 $N_{in}$ は、内・外転居世帯数と純移動世帯数の合計から式(12)のとおりとなる。

$$N_{in,t}^w = G_t^w + \sum_i N_{out,i,t}^w \quad (12)$$

**(4) 立地均衡モデル**

都市内への転居（内・内転居+外・内転居）世帯数の転居先は、立地均衡モデルによる土地市場の需給一致から決定される。立地均衡モデルについて以下に示す。

**a) 世帯の行動**

家計の行動は、所得制約の下、効用を最大化するよう合成財、土地の消費を行うとして定式化する（式(13)）。

$$V_{i,t}^w(U_{i,t}^w) = \max[U_{i,t}^w(x_i^w, b_{i,t}^w, \gamma_i^{n,w})] \quad (13.a)$$

$$\text{s.t. } px_i^w + R_{i,t} b_{i,t}^w = I_i^w \quad (13.b)$$

ここで、 $V(\cdot)$  : 間接効用水準、 $U(\cdot)$  : 効用水準、 $x$  : 合成財需要量、 $b$  : 土地需要量、 $\gamma^n$  : 立地条件ベクトル、 $p$  : 合成財価格 (=1)、 $R$  : 地代、 $I$  : 所得。

上記の最大化問題を解くと、各需要関数が得られ、それを式(13)に代入すると間接効用関数が得られる。

$$V_{i,t}^w = V_{i,t}^w(I_i^w, R_{i,t}, \gamma_i^{n,w}) \quad (14)$$

家計の立地選択行動は、宮城（1985）<sup>12)</sup>で定義された選択の基本公式で表され、上記の間接効用関数を用いて以下の最大化問題により定式化できる。

$$e_t^w = \max_{P_{i,t}^w} \left[ \sum_i P_{i,t}^w V_{i,t}^w - \frac{1}{\theta^w} \sum_i (P_{i,t}^w \ln P_{i,t}^w) \right] \quad (15.a)$$

$$\text{s.t. } \sum_i P_{i,t}^w = 1 \quad (15.b)$$

ここで、 $e$  : 世帯の立地選択における最大期待効用値、 $\theta$  : ロジットパラメータ、 $P_{i,t}^w$  : 世帯主年齢階層  $w$  の世帯がゾーン  $i$  を選択する確率。

上記の最大化問題を解くと、立地選択確率が以下のロジットモデルとして得られる。

$$P_{i,t}^w = \frac{\exp\{\theta^w \cdot (V_{i,t}^w + \tau_i^w)\}}{\sum_i \exp\{\theta^w \cdot (V_{i,t}^w + \tau_i^w)\}} \quad (16)$$

**b) 不在地主の行動**

不在地主の行動は、家計からの地代収入と提供する土地の維持管理費用からなる利潤最大化行動として定式化する。

$$\pi_{i,t} = \max_{K_{i,t}} [R_{i,t} K_{i,t} - C(K_{i,t})] \quad (17.a)$$

$$\text{s.t. } C(K_{i,t}) = -\sigma_i \bar{K}_{i,t} \ln \left( 1 - \frac{K_{i,t}}{\bar{K}_{i,t}} \right) \quad (17.b)$$

ここで、 $\pi$  : 利潤、 $K$  : 土地供給量、 $C(\cdot)$  : 不在地主の費用関数、 $\bar{K}$  : 土地供給可能面積、 $\sigma$  : パラメータ。

上記を解くと以下の土地供給関数が得られる。

$$K_{i,t} = \left( 1 - \frac{\sigma_i}{R_{i,t}} \right) \bar{K}_{i,t} \quad (18)$$

**c) 均衡条件**

土地市場の均衡条件は式(19)となる。

$$\sum_w b_{i,t}^w \cdot \left\{ \left( \sum_i N'_{i,t}{}^w + G_t^w + \sum_i N_{out,i,t}^w \right) \cdot P_{i,t}^w \right\} + \sum_w b_{i,t-5}^w \cdot \hat{N}_{i,t}^w = \left( 1 - \frac{\sigma_i}{R_{i,t}} \right) \cdot \bar{K}_{i,t} \quad (19)$$

### 3. 実証モデルの構築

#### (1) モデルの概要

実証モデルは、富山市都市圏を対象とし、2000年次のデータを用いて土地市場が均衡するようにパラメータ設定を行い、構築する。

対象圏域は、コンパクトシティの先進自治体の一つである富山市を中心に、通勤率を踏まえ6市町村（富山市、滑川市、射水市、舟橋村、上市町、立山町）とする。

ゾーンは、用途地域指定地域を2分の1地域メッシュ（約500mメッシュ）、非線引き白地地域・市街化調整区域を2倍地域メッシュ（約2kmメッシュ）に区分する。なお、都市計画区域外は1ゾーンとする。

対象圏域・ゾーン区分の設定等を図-2、表-1に示す。

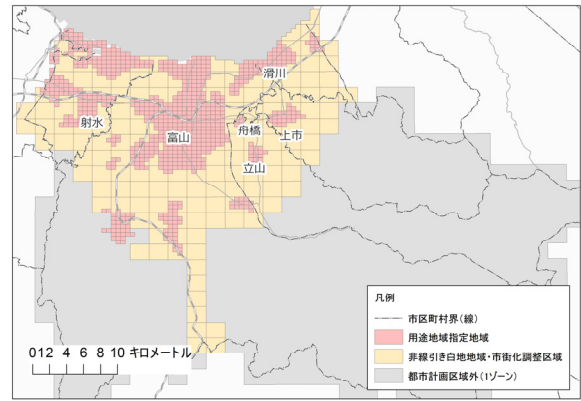


図-2 対象圏域およびゾーン区分

表-1 ゾーン数および人口

区域	ゾーン数	域内人口 (2000年)	
合計	979	615,099	100.0%
○都市計画区域	978	605,166	98.4%
・用途地域指定地域	822	437,356	71.1%
・非線引き白地地域、市街化調整区域	156	167,810	27.3%
○都市計画区域外	1	9,933	1.6%

#### (2) 関数型の特定化とデータ

##### a) 関数型の特定化

効用関数は式(20)のとおり定式化した。このうち立地条件は、富山市在住の世帯主を対象としたアンケート調査結果<sup>13)</sup>を踏まえ、「食品スーパーまでの所要時間」、「最寄鉄道駅までの所要時間」とした。

$$V_{i,t}^w(U_{i,t}^w) = \max[\alpha_x^w \ln x_i^w + \alpha_b^w \ln b_{i,t}^w + \sum_n \alpha_\gamma^{n,w} \ln \gamma_i^{n,w}] \quad (20a)$$

$$\text{s.t. } px_i^w + R_{i,t} b_{i,t}^w = I^w \quad (20b)$$

ここで、 $\gamma^n$ ：立地条件ベクトル（1：食品スーパーまでの所要時間，2：最寄駅までの所要時間）， $\alpha_x, \alpha_b, \alpha_\gamma$ ：パラメータ（ $\alpha_x + \alpha_b = 1$ ）。

上記の最大化問題を解くと、次の土地需要関数および間接効用関数が得られる。

$$b_{i,t}^w = \frac{\alpha_b^w I^w}{R_{i,t}} \quad (21)$$

$$V_{i,t}^w = \ln I^w - \alpha_b^w \ln R_{i,t} + \alpha_x^w \ln \alpha_x^w + \alpha_b^w \ln \alpha_b^w + \sum_n \alpha_\gamma^{n,w} \ln \gamma_i^{n,w} \quad (22)$$

##### b) 都市外転居の設定

都市外転居のリンク関数は式(23)のとおり定式化した。都市外転居の要因としては種々考えられるが、モデルの簡略化のため、本稿では市町村ダミーのみとした。

$$\varphi^w(Q_j) = \sum_j \alpha_j^w \cdot Q_j + c^w \quad (23)$$

ここで、 $Q_j$ ：市町村  $j$  のダミー変数、 $\alpha$ ：パラメータ、 $c^w$ ：定数。

##### c) 住み替え需要顕在化の設定

住み替え顕在化を表現する関数は、都市外転居モデルと同様の考え方で住み替え需要の顕在化を二者択一行動

と捉え、また、住み替えには費用を要することから金銭的余裕が影響すると考え所得を変数とした式(24)として検討を行った。しかし、後述のパラメータ推定で所得のパラメータは有意水準を満たさなかったため、最終的に定数項のみとし、住み替え顕在化の割合は固定値とした。

$$\omega^w(I^w) = \frac{1}{1 + \exp(-(\bar{\alpha}_I^w I^w + d^w))} \quad (24)$$

ここで、 $\bar{\alpha}_I^w$ ：パラメータ、 $I$ ：所得、 $d^w$ ：定数項。

##### d) 世帯自然増減率の設定

世帯の発生・消滅を示す世帯自然増減率は、世帯増減数と世帯純移動数から、式(25)のとおり設定した。

$$\bar{S}^w = \{(N_{t+5}^{w+5} - N_t^w) - G_t^w\} / N_t^w + 1 \quad (25)$$

##### e) 各ゾーンの基礎データの設定

人口は、ゾーン単位での年齢階層別人口が統計データとして存在しないため、小地域単位での年齢階層別人口を500mメッシュ単位での総人口を用いて按分して算出した上で、ゾーン単位で集計して算出した。世帯数も、ゾーン単位では世帯主年齢階層別の値が統計データとして存在しないため、ゾーンの年齢階層別人口に世帯主率を乗じて算出した。

食品スーパーまでの所要時間は、各ゾーンから最寄りの食品スーパーまでの道路距離を富山市における自動車の平均走行速度<sup>14)</sup>で除すことにより算定した。道路距離は、富山市における道路距離と直線距離との比率<sup>15)</sup>を直線距離に乗じて算出した。鉄道駅までの所要時間も、速度に標準歩行速度を用いて同様の方法により算出した。



地代は、都道府県地価データを用いてクリギング法により各ゾーンにおける地価を推計した後、推計地価に利回りを乗じて算出した。

土地供給面積は、宅地面積を土地利用細分メッシュ上の建物用途メッシュの面積で按分して算出した。ただし、データ年次が 2000 年でないものは 2000 年前後のデータを用いて線形補間により 2000 年値を算出した。

土地供給可能面積は、土地利用細分メッシュのうち、田、その他の農用地、建物用地を合計した面積から道路面積を除いて算出した。

土地需要面積は、ゾーンの土地需要面積計である土地供給面積を世帯主年齢階層別世帯人員で按分して世帯主年齢階層別土地需要面積を算出し、その値をゾーン毎の世帯主年齢階層別世帯数で除して算出した。なお、世帯主年齢階層別世帯人員は世帯主年齢階層別世帯数に世帯主年齢階層別平均世帯人員を乗じて算出した。

設定に使用したデータを表-2 に示す。

(3) パラメータの推定

a) 土地供給パラメータ

式(18)に 2000 年時点の供給可能面積  $\bar{K}_i$ 、土地供給面積  $K_i$ 、地価  $R_i$  を代入してキャリブレーションにより推定した。

b) 土地需要パラメータ

式(21)に 2000 年時点の一世帯あたり土地需要面積  $b_i^w$ 、所得  $I^w$ 、地代  $R_i$  を代入して最小二乗法により推定した。

世帯主年齢階層別の推定結果を表-3 に示す。各パラメータは一定の有意水準を満たし、決定係数も概ね良好な結果となった。

c) 都市外転居パラメータ

式(6), (7), (23)を用いて最尤法により推定した。ただし、世帯主年齢階層別の転居世帯数は統計データから得られなかったため、国勢調査における年齢別転出入口を代用して推定を行った。推定結果は表-4 のとおりで、良好な結果を得た。

d) 住み替え需要顕在化パラメータ

住み替え顕在化のパラメータは、富山市の世帯主を対象としたアンケート調査結果<sup>13)</sup>を用いて推定を行った。アンケートでは、1 ヶ月あたりの生活費・世帯年収、転居の意思を設問していたため、これらを使用して最尤法により推定を行った。

しかしながら、推定の結果(表-5)、所得のパラメータは有意水準を満たさなかった。ここから、使用したアンケートが今回のパラメータ推定を目的として実施したものではなくアンケート設計に課題があるものの、住み替えが顕在化するにあたり、所得はほとんど影響しないことが示唆される。本稿では、定数項のみ採用することとし、住み替え顕在化の割合は固定値とした。ただし、

表-2 使用データ

項目	年	出典
人口	2000・2005年	国勢調査
世帯	2000・2005年	国勢調査
生残率	2000年	市町村別生命表
食品スーパーまでの距離	2000年	ゼンリン
鉄道までの距離	2000年	国土数値情報
地価	2000年	都道府県地価調査
利回り	2000年	財務省 HP.10 年国債利回り
土地供給面積	1998年	住宅・土地統計調査
	1998年・2000年	富山県勢要覧
	1997年・2006年	土地利用細分メッシュ
土地供給可能面積	同上	同上
所得	2000年	賃金構造基本統計調査
就業者数	2000年	国勢調査

表-3 土地需要パラメータ推定結果

年齢	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44
$\alpha_b^w$	0.034	0.032	0.047	0.053	0.059	0.059
t 値	47.12	47.28	46.48	46.96	47.60	46.95
R <sup>2</sup>	0.723	0.724	0.716	0.721	0.727	0.721
年齢	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	70-
$\alpha_b^w$	0.054	0.052	0.054	0.066	0.074	0.073
t 値	47.50	47.54	47.19	47.11	46.96	46.79
R <sup>2</sup>	0.726	0.726	0.723	0.722	0.721	0.720

表-4 都市外転居パラメータ推定結果

	15-19		20-24		25-29	
	係数	z 値	係数	z 値	係数	z 値
定数項	-1.658	-43.95***	-2.174	-49.31***	-2.567	-49.91***
富山市	0.483	12.28***	0.703	15.453***	0.767	14.47***
滑川市	0.339	5.99***	0.410	6.353	-	0.547
射水市	0.546	12.36***	0.796	15.86***	0.896	15.54***
舟橋村	0.706	4.10***	-	-	-	-
Nagelkerke R-sq	1.000		1.000		1.000	
	30-34		35-39		40-44	
	係数	z 値	係数	z 値	係数	z 値
定数項	-3.249	-49.70***	-3.810	-44.11***	-4.125	-42.13***
富山市	1.045	15.63***	1.276	14.50***	1.165	11.65***
滑川市	0.647	7.28***	0.589	4.95***	0.577	4.24***
射水市	0.949	13.10***	0.998	10.43***	0.905	8.30***
Nagelkerke R-sq	1.000		1.000		1.000	
	45-49		50-54		55-59	
	係数	z 値	係数	z 値	係数	z 値
定数項	-4.076	-58.02***	-4.672	-38.63***	-5.093	-35.18***
富山市	0.816	11.10***	1.101	8.90***	1.028	6.94***
滑川市	-	-	-	0.599	3.57***	0.618
射水市	0.668	7.87***	0.956	7.14***	1.166	7.42***
Nagelkerke R-sq	0.999		0.997		0.981	
	60-64		65-			
	係数	z 値	係数	z 値	係数	z 値
定数項	-5.213	-35.2***	-4.461	-181.4***	-	-
富山市	0.711	5.26***	-	-	-	-
滑川市	-	-	0.401	5.10***	-	-
射水市	1.099	7.44***	0.722	15.52***	-	-
Nagelkerke R-sq	0.952		1.000			

\*\*\* : 0.1%, \*\* : 1%, \* : 5%

表-5 住み替え需要顕在化パラメータ推定結果

	n	定数項	z 値	$\bar{\alpha}_I^w$	z 値	Nagelkerke R-sq
10代	0	-	-	-	-	-
20代	7	1.67	0.943	-8.59E-07	-1.163	0.316
30代	36	-2.54	-2.101 *	4.77E-07	1.768	0.133
40代	59	-2.97	-3.432 ***	2.93E-07	1.867	0.102
50代	24	-2.27	-1.210	4.80E-08	0.189	0.003
60代	6	x	x	x	x	x
70代	5	x	x	x	x	x
全年代	137	-1.64	-3.413 ***	6.82E-08	0.759	0.006

x : 住み替え需要顕在化とみなすサンプルが無いため推定不可

\*\*\* : 0.1%, \*\* : 1%, \* : 5%

アンケートによる推定値を初期値として、後述の  $\tau_{all}^w$  の初期値を設定する際に  $d^w$  を同時に決定することとした。

e) 立地選択関連パラメータ

式(26)の最小化問題を解くことにより、パラメータ推定を行った。  $G_{i,t}^w$  は統計データから設定される純移動数である。  $\hat{G}_{i,t}^w$  の一つ目の[]内は、式(10)、(12)から得られる対象圏域における全転入数であり、選択確率を乗じることで当該ゾーンへの転入数となる。また、  $\hat{G}_{i,t}^w$  の二つ目の[]内は、式(8)、(10)から得られる当該ゾーンからの転出数である。式(26.a)の  $\rho(L - B)^2$  は、内・内転居数の推計値と実測値の差からなるペナルティ項である。なお、計算には非線形最小化問題の数値解法の一つである準ニュートン法を用いた。

$$\min_{\alpha_{\gamma}^{n,w}, \tau} \left[ \sum_i (G_{i,t}^w - \hat{G}_{i,t}^w)^2 + \rho(L - B)^2 \right] \quad (26.a)$$

$$G_{i,t}^w = POP_{i,t+5}^{w+5} \cdot \dot{N}^{w+5} - POP_{i,t}^w \cdot \dot{N}^w \cdot \bar{S}^w \quad (26.b)$$

$$\hat{G}_{i,t}^w = \left[ \sum_k \{ N_{k,t}^w \cdot \bar{S}^w (1 - \lambda_{j,t}^w) \cdot P_{k,t}^{w'} \} + (G_t^w + \sum_k N_{out,k,t}^w) \right] \cdot \frac{\exp\{\theta^w \cdot (v_i^w + \tau_i^w)\}}{\sum_k \exp\{\theta^w \cdot (v_k^w + \tau_k^w)\}} - [N_{i,t}^w \cdot \bar{S}^w (1 - \lambda_{j,t}^w) \cdot P_{i,t}^{w'} + N_{i,t}^w \cdot \bar{S}^w \cdot \lambda_{j,t}^w] \quad (26.c)$$

$$L = \sum_i \{ (N_{i,t}^w - N_{i,t}^w \cdot \lambda_{j,t}^w) \cdot \bar{S}^w \cdot P_{i,t}^{w'} \} \quad (26.d)$$

ここで、  $B$  : 内・内転居数の実測値 (国勢調査の年齢別転出数に世帯主率を乗じて設定)、  $\rho$  : 定数 (> 0)、  $\theta$  : パラメータ ( $\theta=1$ )。

しかしながら、式(26)では未知数  $w \times (n + i)$  個に対し  $(\alpha_{\gamma}^{n,w}, \tau_i^w)$ 、式  $w \times i$  本となりこのままでは解くことが出来ないため、以下の手順で推定を行った。

**STEP1**  $\tau_{i,all}^w$  の推定

・  $\tau_{i,all}^w = \sum_n \alpha_{\gamma}^{n,w} \ln \gamma_i^{n,w} + \tau_i^w$  と設定し、式(26)の最小化問題を解くことにより  $\tau_{i,all}^w$  を推定する。なお、  $\tau_{i,all}^w$  の初期値は内・内転居数の推計値の合計が実測値に一致する値としてゾーン共通に設定する。

**STEP2**  $\alpha_{\gamma}^{n,w}, \tau'$  の推定

・  $\tau_{i,all}^w = \sum_n \alpha_{\gamma}^{n,w} \ln \gamma_i^{n,w} + \tau'$  と設定し、STEP1 で推定した  $\tau_{i,all}^w$  および最寄食品スーパーまでの所要時間  $\gamma_i^{1,w}$ 、最寄駅までの所要時間  $\gamma_i^{2,w}$  を代入して、最小二乗法により  $\alpha_{\gamma}^{n,w}$  および  $\tau'$  を推定する。

**STEP3**  $\tau_i^w$  の推定

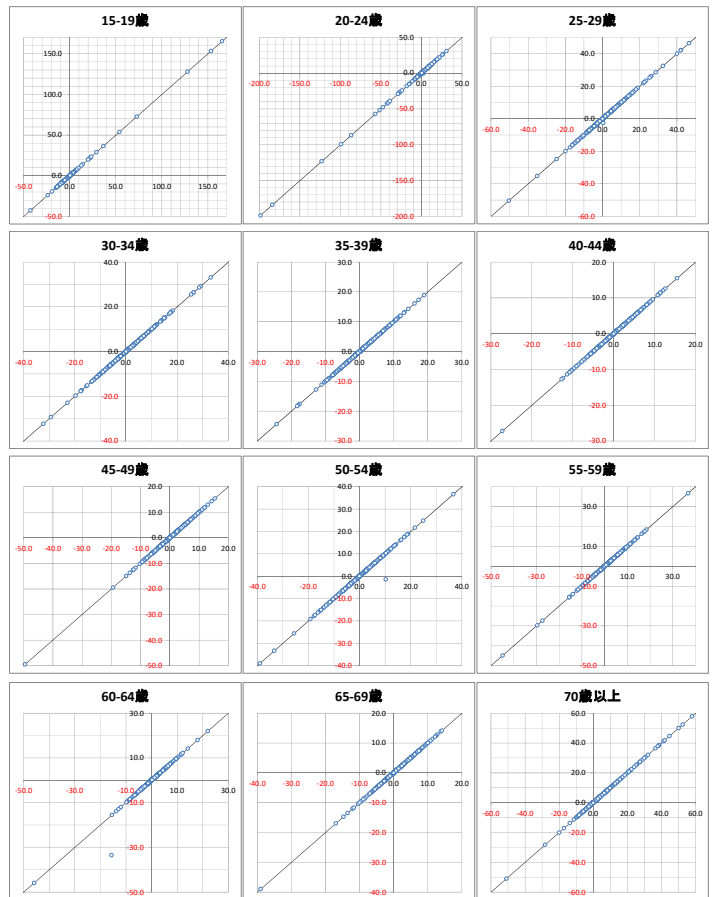
・ 推定した  $\alpha_{\gamma}^{n,w}, \tau'$  により  $\tau_{i,all}^w$  の推計値  $\hat{\tau}_{i,all}^w$  を算出し、推計値  $\hat{\tau}_{i,all}^w$  と  $\tau_{i,all}^w$  の差分と  $\tau'$  を用いて  $\tau_i^w$  を推定 ( $\tau_i^w = (\tau_{i,all}^w - \hat{\tau}_{i,all}^w) + \tau'$ )。

推定結果のうち、  $\alpha_{\gamma}^{n,w}$  および  $\tau'$  の推定結果を表-6 に示す。上記で推定した  $\tau_{i,all}^w$  はゾーン固有の魅力度と解釈できるが、ゾーン固有の魅力度には本稿で採用した立地条件 (最寄駅までの所要時間、食品スーパーまでの所要時間) 以外の要因が大きく影響していることが決定係数の低さ等から確認できる。なお、それらの要因は本稿の

表-6 立地関連パラメータ推定結果 ( $\alpha_{\gamma}^{n,w}, \tau'$ )

	15-19		20-24		25-29		30-34	
	係数	t値	係数	t値	係数	t値	係数	t値
定数項 $\tau'$	-11.89	-44.18 ***	-14.58	-52.51 ***	-13.97	-120.8 ***	-13.79	-93.97 ***
$\alpha_{\gamma}^{1,w}$	-0.69	-8.64 ***	-0.68	-8.26 ***	-0.61	-8.12 ***	-0.69	-7.21 ***
$\alpha_{\gamma}^{2,w}$	-0.20	-2.42 *	-0.22	-2.62 *	-	-	-	-
R <sup>2</sup>	0.090		0.086		0.063		0.051	
	35-39		40-44		45-49		50-54	
	係数	t値	係数	t値	係数	t値	係数	t値
定数項 $\tau'$	-13.21	-103.65 ***	-13.07	-80.65 ***	-12.97	-92.45 ***	-11.82	-123.8 ***
$\alpha_{\gamma}^{1,w}$	-0.65	-7.83 ***	-0.67	-6.34 ***	-0.59	-6.53 ***	-0.34	-5.53 ***
$\alpha_{\gamma}^{2,w}$	-0.19	-2.17 *	-	-	-	-	-	-
R <sup>2</sup>	0.064		0.040		0.042		0.030	
	55-59		60-64		65-69		70-	
	係数	t値	係数	t値	係数	t値	係数	t値
定数項 $\tau'$	-11.11	-80.84 ***	-10.96	-112.3 ***	-9.68	-63.57 ***	-12.64	-94.1 ***
$\alpha_{\gamma}^{1,w}$	-0.54	-6.06 ***	-0.42	-6.60 ***	-0.41	-4.188 ***	-0.53	-6.08 ***
$\alpha_{\gamma}^{2,w}$	-	-	-	-	-	-	-0.22	-2.43 **
R <sup>2</sup>	0.036		0.043		0.018		0.042	

\*\*\* : 0.1%, \*\* : 1%, \* : 5%



※実測値は、国勢調査等から式(26b)を用いてメッシュ別に設定した値

図-3 ゾーン別純移動数 (縦軸: 推計値, 横軸: 実測値)

モデルでは  $\tau_i^w$  として表現され、推計上考慮されている。

推定したパラメータによる推計値の再現性を確認するため、ゾーン別純移動数の推計値と実測値を比較したところ (図-3)、再現性は良好であることを確認した。

(4) 再現性の確認

2000 年を基準年として 2010 年までの推計を行い、再現性の確認を行った。推計フローは図-4 に示すとおりで、土地需要量と土地供給量の均衡計算には、パラメータ  $\tau_{i,all}^w$  の推定と同様、準ニュートン法を用いた。

推計結果を図-5、表-7 に示す。2005 年時点におけるゾーン別世帯数の不一致係数は 0.003，ゾーン別世帯主年齢階層別世帯数の不一致係数は 0.00~0.12 となり，極めて良好な再現性を確認した。一方，2010 年時点では，ゾーン別世帯数の不一致係数は 0.054，世帯主年齢階層別世帯数の不一致係数は 0.06~0.17 となった。

#### 4. 数値シミュレーション

##### (1) 条件設定

ここでは都市構造のコンパクト化施策として，用途地域指定地域のうち，鉄道駅 500m 圏内のゾーンへの立地に対して助成金を与えることとし，式(22)の地代 $R$ から助成金の金額を差し引く。施策の適用範囲を図-6に示す。

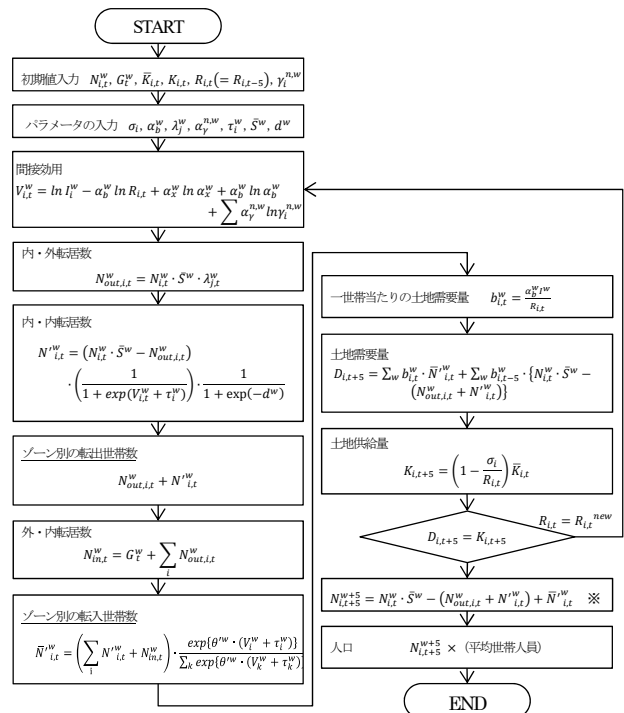
助成金の設定は，富山市で実施されている「まちなか住宅家賃助成事業」等を参考に，当該ゾーンの地代の 2 割を助成金として設定する。シミュレーションは 2000 年を基準年に 2020 年までとして，施策は 2010 年から実施されるものとし，上記施策を実施した場合 (with) と実施しなかった場合 (without) の 2 パターン実施する。

##### (2) 影響分析

図-7 より，施策対象範囲としたほぼ全ゾーンについて，without と比較して人口増が確認できた。なかでも射水市沿岸部西の市街地や，富山市沿岸部等で相対的に高い人口増となった。これは，当該ゾーンのゾーン固有の魅力度 $\tau_{i,all}^w$ の値が相対的に低く，他のゾーンよりも地代の影響を受けやすいことが要因と思われる。他方，施策対象範囲外では，ほぼ全てのゾーンにおいて人口減となり，このうち，用途地域指定地域に着目すると，相対的に人口減が抑えられているゾーン（富山駅-立山市街地間）がある一方，相対的に高い人口減となるゾーンもみられた（射水市沿岸部東等）。これらの要因も地代に対する感度が要因と思われる。

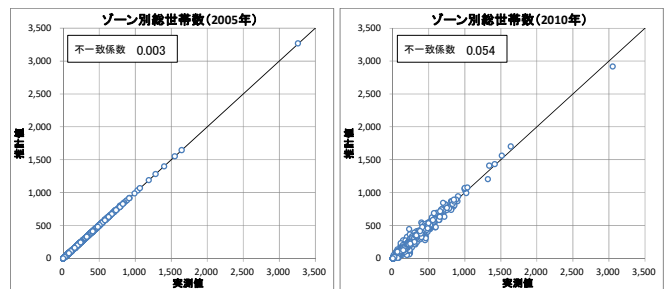
都市を集約化させる際には，行政コスト等の観点から市街地の縁辺部から徐々になされることが望ましく，用途地域指定地域からの転居は望ましくないと考える。このため，助成金によりコンパクト化を図る際には，指定地域のうち，地代に対する感度の高いゾーンについて配慮する（指定地域からの転居は助成の対象外にする等）必要があることがシミュレーション結果から示唆された。

図-8 では，2010-2015 年よりも 2015-2020 年の方が施策対象範囲内の人口増加が若干高い結果となった。これは当期から対象圏域内の総人口が減少トレンドに転換しており，これに伴い施策対象範囲内においても土地に空きが生じたことが要因と思われる。人口減少が加速する中で，コンパクト化施策の効果も増すことが示唆される。



※世帯主年齢 15-19 歳の世帯数は，基準年における 15-19 歳の世帯分布比率を 15-19 歳世帯総数に乗じて推計

図-4 推計フロー (t期→t+5期)



※不一致係数  $U = \frac{\sqrt{\frac{1}{l} \sum_i^l (M_i - \bar{M})^2}}{\sqrt{\frac{1}{l} \sum_i^l (M_i)^2 + \frac{1}{l} \sum_i^l (M_i)^2}}$ 。ただし， $l$ ：標本数、 $M$ ：観測値、 $\bar{M}$ ：予測値。

図-5 ゾーン別総世帯数の不一致係数

表-7 ゾーン別世帯主年齢階層別世帯数の不一致係数

	世帯主年齢												
	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	70-74	75-
2005年	0.12	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
2010年	0.17	0.08	0.11	0.13	0.11	0.08	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06

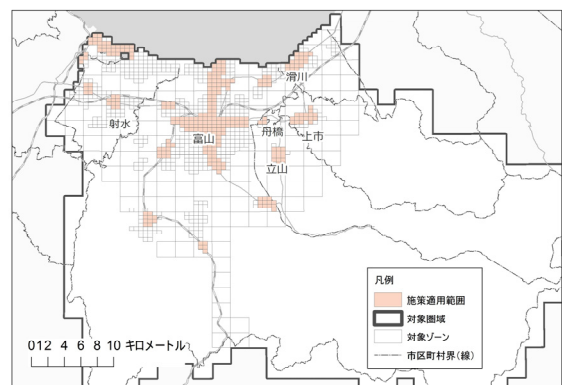


図-6 施策適用範囲



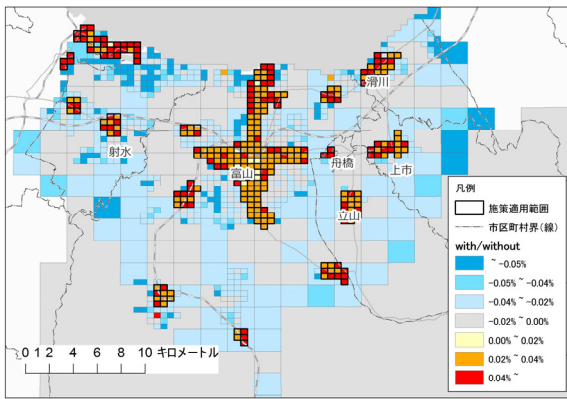


図-7 2020年時点における比較分布 (with/without)

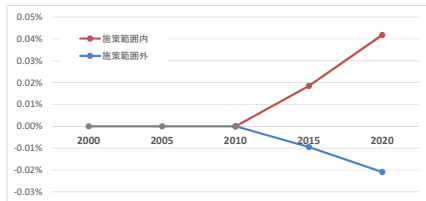


図-8 人口増減の経年変化 (with/without)

## 5. おわりに

本稿では、都市構造のコンパクト化施策の影響分析を行うため、都市内人口分布の時系列推計が可能な①理論モデルの構築、②実証モデルの構築、③数値シミュレーションの実施を行った。実証モデルは、2005年時点では極めて良好な再現性を確認することができた。また、数値シミュレーションでは、地代に対する感度の高いゾーンが用途地域指定地域に存在する場合、助成金付与に条件を設けるなどの配慮が必要である等の示唆を得た。

今後の課題として、まず、シミュレーション時の計算時間の効率化が挙げられる。推計には相当な時間を要した。ゾーン数の多さが影響していると思われるが、コンパクト化施策を評価するには、500mメッシュ程度の空間的な細かさは必要と考えるため、計算の効率化は課題である。また、数値シミュレーションについて、施策効果の検証のために、別途、施策対象範囲を富山市施策の範囲に変更して推計を行ったところ、当該範囲の人口増加は実績値よりも低い値となった。要因として施策条件のモデルへの反映方法やパラメータの推定方法にあると思われる。これらについては引き続き検討が必要と考える。加えて、本稿ではロジットパラメータ $\theta$ の設定を1としたが、長期的な推計における推計値の信頼性を向上させるため、 $\theta$ の設定についても課題と考える。

なお、本稿では助成金施策のみ実施したが、本モデルにより、任意ゾーンへの転入を禁ずる規制策や、公共交通再編による施策などもシミュレーション可能のため、これらを含めた総合的なコンパクト化施策について今後検討していきたい。

## 参考文献

- 1) 国土交通省, 国土のグランドデザイン 2050, 2014
- 2) 国土交通省 HP, 立地適正化計画制度 : [http://www.mlit.go.jp/en/toshi/city\\_plan/compactcity\\_network.html](http://www.mlit.go.jp/en/toshi/city_plan/compactcity_network.html) (最終閲覧 2017年7月26日)
- 3) 池田大一郎・谷口守・島岡明生: 汎用性の高い都市コンパクト化評価支援システム (SLIM CITY) の開発と適用, 土木計画学研究・論文集, Vol.21, pp.501-506, 2004.
- 4) 戸川卓哉・小瀬木祐二・鈴木祐大・加藤博和・林良嗣: 環境・経済・社会のトリプル・ボトムラインに基づく都市持続性評価システム, 土木計画学研究・講演集, Vol.41 (CD-ROM), 27, 2010.
- 5) 安立光陽・鈴木勉・谷口守: コンパクトシティ形成過程における都市構造リスクに関する予見, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.68, No.2, pp.70-83, 2012.
- 6) 金子貴誉史・森本章倫・井上恭介: 持続可能性から見た都市のコンパクト化の評価に関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vol.48, CD-ROM, 2013.
- 7) 牧野夏樹・中川大・松中亮治・大庭哲治: 都市の人口規模に着目したコンパクトシティ施策の効果に関する研究, 土木計画学研究・論文集, Vol.27, pp.345-353, 2010.
- 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, pp.9-16, 2012.
- 9) 杉本達哉・神永希・高森秀司・佐藤徹治: 都市外への転居行動を考慮した都市内人口分布の時系列推計モデルの構築, 土木計画学研究・講演集, Vol.54 (CD-ROM), 122, 2016.
- 10) 奥村誠: 都道府県別人口統計に見る自然災害からの回復力, 応用地域学会 第29回研究発表大会, 2015.
- 11) 林良嗣・富田安夫・奥田隆明: 住み替え潜在需要・頭在化・住宅タイプ選択・居住ゾーン選択のプロセスを組み込んだ住宅需要・立地分析モデル, 土木計画学研究・講演集, Vol.10, pp.259-266, 1987.
- 12) 宮城俊彦・小川俊幸: 共役理論を基礎とした交通配分モデルについて, 土木計画学研究・講演集, Vol.7, pp.301-308, 1985.
- 13) 今井一貴・佐藤徹治・神永希・杉本達哉・高森秀司: 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, pp.I\_423-I\_434, 2016.
- 14) 国土交通省道路局企画課道路経済調査室: 平成22年度全国道路・街路交通情勢調査一般交通量調査集計表.
- 15) 森田匡俊, 鈴木克哉, 奥貫圭一: 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的研究, Theory and Applications of GIS, Vol.22, No.1, pp.1-7, 2014. (2017.??受付)