

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

秀島 栄三¹・金子 孝輔²・中居 楓子³

¹正会員 名古屋工業大学教授 大学院工学研究科 (〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町)
E-mail: hideshima.eizo@nitech.ac.jp

²非会員 名古屋工業大学博士前期課程 大学院工学研究科 (〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町)
E-mail: k.kaneko.106@stn.nitech.ac.jp

³正会員 名古屋工業大学助教 大学院工学研究科 (〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町)
E-mail: nakai.fuko@nitech.ac.jp

人口減少や高齢化に伴って中心市街地の衰退、空き地・空き家の問題が顕在化している。各自治体は立地適正化計画を策定し、コンパクトシティ・プラス・ネットワーク施策を進めようとしている。しかしながら諸施策によってもたらされる効果が必ずしも明らかではない。そこで本研究では、できるかぎり単純化した都市モデルを構築した上で、数値シミュレーションにより諸施策および施策の組み合わせの効果を分析した。いくつかの評価指標をもとにコンパクトシティ化の効果ならびに経済的な効率性を評価し、望ましい施策およびその組み合わせを明らかにした。

Key Words : compact city, city structure, computable urban economic model

1. はじめに

多くの都市で人口減少や高齢化に伴って中心市街地の衰退、空き地・空き家の問題が顕在化している。これらを解決する都市構造のあり方としてコンパクトシティの考え方がある。最近では国の主導のもと各自治体は立地適正化計画を策定し、地域公共交通と連携し、拠点的地区および周辺に人口の集約を図るコンパクトシティ・プラス・ネットワーク施策を進めようとしている¹⁾。しかし、諸施策がどのような効果をもたらすか必ずしも明らかではない。そもそもコンパクトシティの定義は多様である。いくつかの文献²⁾³⁾に示されるコンパクトシティの定義を踏まえると、都市活動の密度が高い、効率的な空間利用がなされている、自動車に依存しないことなどが求められていると言える。ただし、密度、効率的な空間利用が具体的にどのように計測されるものかが定かではない。施策を実効性あるものにするためには定量的に計測、評価しうる指標を定めることが重要と考えた。立地適正化計画に示される諸施策を参考に、都市構造の観点から(i)幹線交通周辺に人口が集中すること、(ii)幹線交通周辺の建物床面積が維持または増加すること、(iii)郊外で土地需給量が減少すること、また経済的効率性の観点から(iv)個々の主体が得る便益が維持または向上すること、(v)社会全体の便益が維持または向上すること

などを評価すべきであると考えられる。

以上より本研究では、コンパクトシティ・プラス・ネットワーク施策の効果を明らかにすることを目的として応用都市経済モデルの考え方⁴⁾に基づいた都市モデルを構築し、数値シミュレーションにより諸施策の効果を分析する。

2. 都市モデルの構築

本研究で構築する都市モデルは、単一中心のシンプルな都市圏を想定し、図-1に示すように i 個 ($i \in I = \{1, 2, 3, 4, \dots, 24, 25\}$) のゾーンに分割する。

モデル構築にあたって以下の仮定を置く。

- ① 人口が他の都市圏に流出入しない。
- ② 家計はみな同一の所得で同じ効用関数である。
- ③ 都心を含んだ線状の鉄道ネットワークと、都心を中心に直交する幹線道路とその幹線道路に繋がる生活道路の2種類の道路(自動車)ネットワークが存在する。ゾーン内の移動は徒歩で行い、他ゾーンへの移動は徒歩・自動車・鉄道のうち、交通費用が小さい手段を選択して行う。
- ④ 経済主体は家計と土地開発者と地主の3主体である。各ゾーンには、各ゾーンの土地を保有する地主と建

物床を生産する土地開発者がそれぞれ1人存在する。地主は土地開発者に土地を供給し、土地を供給された土地開発者は建物床を生産して家計に供給する。

⑤ 立地主体は家計のみとし、不在地主・不在土地開発者とする。

⑥ 通勤にかかる実費は会社が負担し、家計には通勤にかかる時間費用のみがかかる。

本モデルの全体構造を図-2に示す。家計は効用を土地開発者と地主は利潤を最大にする行動をし、土地市場、建物床市場、交通市場から提示される価格（住宅地代、建物賃料、交通費用）によって財（土地面積、建物床面積、トリップ数）を消費・投入する。

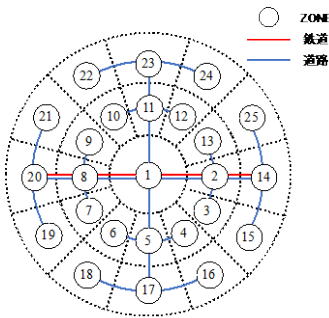


図-1 対象都市圏

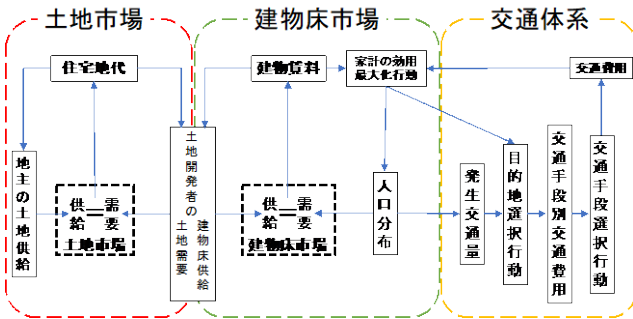


図-2 モデルの全体構造

家計は所得制約の下で自らの効用を最大化するように建物床、私的トリップ、合成財を消費する。これを式(1)のように定式化する。

$$u_i = \alpha_z \ln z_i + \alpha_A \ln A_i + \alpha_x \ln x_i \rightarrow \text{Max} \quad (1.a)$$

$$\text{s.t. } z_i + R_i \cdot A_i + C_i \cdot x_i = I_i - T_i = NI_i \quad (1.b)$$

ただし、 i : ゾーンを表す添字、 u_i : 家計の効用、 z_i : 合成財消費量、 A_i : 建物床消費量、 x_i : 私事トリップ消費量、 R_i : 単位面積あたりの建物賃料、 C_i : ゾーンの代表的トリップ費用、 I_i : 所得、 T_i : 通勤費用、 NI_i : 純所得、 $\alpha_z, \alpha_A, \alpha_x$: 支出配分パラメータ ($\alpha_z + \alpha_A +$

$\alpha_x = 1$) である。式(1)を解くと間接効用関数が導出され、家計は間接効用と立地選択確率に基づき立地選択をする。

$$V_i = \underset{\text{max}}{u_i} = \ln I_i - \alpha_A \ln R_i - \alpha_x \ln C_i + \alpha_z \ln \alpha_z + \alpha_A \ln \alpha_A + \alpha_x \ln \alpha_x \quad (2)$$

$$P_i = \frac{\exp \theta^H (V_i + \tau_i)}{\sum_i \exp \theta^H (V_i + \tau_i)} = \frac{\exp \theta^H v_i}{\sum_i \exp \theta^H v_i} \quad (3)$$

ただし、 V_i : 間接効用関数、 P_i : 立地選択確率、 θ^H : 立地選択パラメータ、 τ_i : 地域固有の指標である。

土地開発者は資材と土地を生産要素財とし、建物床生産による利潤を最大にする。これを式(4)のように定式化する。

$$\pi_i = R_i \cdot Q_i - (r_i \cdot L_i + M \cdot K_i) \rightarrow \text{Max} \quad (4.a)$$

$$Q_i = v \cdot L_i^a \cdot K_i^b \quad (4.b)$$

ただし、 π_i : 土地開発者の利潤、 Q_i : 建物床供給量、 r_i : 地代、 L_i : 土地面積需要量、 M : 土地以外の資材価格、 K_i : 土地以外の資材投入量、 a, b, v : パラメータである。式(4)を解くと利潤関数が導出され、ホテリングの補題を用いることで建物床供給関数と土地需要関数が導出される。

$$\pi_i = \varphi_1 \cdot R_i^{\frac{1}{1-a-b}} \cdot r_i^{-\frac{a}{1-a-b}} \quad (5)$$

$$Q_i = \varphi_2 \cdot R_i^{\frac{a+b}{1-a-b}} \cdot r_i^{-\frac{a}{1-a-b}} \quad (6)$$

$$L_i = \varphi_3 \cdot R_i^{\frac{1}{1-a-b}} \cdot r_i^{-\frac{1-b}{1-a-b}} \quad (7)$$

ただし、 $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$: パラメータである。

地主は土地開発者へ土地を供給し、地代収入による利潤を最大にする。これを式(8)のように定式化する。

$$\Pi_i = r_i \cdot y_i - C(y_i) \rightarrow \text{Max} \quad (8.a)$$

$$\text{s.t. } C(y_i) = -\sigma_i \bar{Y}_i \ln \left(1 - \frac{y_i}{\bar{Y}_i} \right) \quad (8.b)$$

ただし、 Π_i : 地主の利潤、 r_i : 地代、 y_i : 土地供給量、 $C(\cdot)$: 地主の費用関数、 \bar{Y}_i : 土地供給可能量、 σ_i : パラメータである。式(8)を解くと地主の土地供給関数が導出される。

$$y_i = \bar{Y}_i \left(1 - \frac{\sigma_i}{r_i}\right) \quad (9)$$

交通行動は小池ら⁹⁾と同様に、ゾーン間トリップ費用目的地選択確率を加重平均した値をゾーンの代表的トリップ費用とする。これを式(10),(11)に示す。

$$C_i = \sum_j p_{ij} C_{ij} \quad (10)$$

$$p_{ij} = \frac{\exp(\theta^s C_{ij} + \psi E_j)}{\sum_j \exp(\theta^s C_{ij} + \psi E_j)} \quad (11)$$

ただし、 p_{ij} ：目的地選択確率、 E_j ：目的地のサービス産業の従業者数、 θ^s ：交通費重みパラメータ ($\theta^s < 0$)、 ψ ：商業重みパラメータ ($\psi > 0$) である。

交通手段である徒歩、自動車、鉄道の交通費用をそれぞれ式(12),(13),(14)のように定式化する。

$$C_{ij}^{walk} = \frac{d_{ij}}{V^{walk}} \cdot w \quad (12)$$

$$C_{ij}^{car} = \frac{f}{f^{car}} \cdot d_{ij} + \frac{d_{ij}}{V^{car}} \cdot w + P_j + F_i \quad (13)$$

$$C_{ij}^{train} = C^{it} + P^T \cdot d_{tt'} + \left(\frac{d_{tt'}}{V^{train}} + T_t\right) w + C^{t'j} \quad (14)$$

ただし、 $C^{walk}, C^{car}, C^{train}$ ：徒歩、自動車、鉄道にかかる費用、 d_{ij} ：ゾーン間距離、 $V^{walk}, V^{car}, V^{train}$ ：徒歩、自動車、鉄道の速度、 w ：時間価値、 f ：燃料費、 f^{car} ：自動車の燃費、 P_j ：ゾーン j の駐車代、 F_i ：その他の管理費、 C^{it} ：最寄駅へのアクセス費用、 P^T ：鉄道運賃、 $d_{tt'}$ ：鉄道乗車距離、 T_t ：鉄道待ち時間、 $C^{t'j}$ ：降りた駅から目的地へのアクセス費用である。

以下3つの均衡が同時に生起するものとする。

① 立地均衡

$$n^T = \sum_i n_i \quad (15)$$

ただし、 n^T ：都市圏の総人口、 n_i ：ゾーン人口である。

② 建物床市場均衡

$$A_i n_i = Q_i \quad (16)$$

③ 土地市場均衡

$$L_i = y_i \quad (17)$$

便益を等価的偏差 (EV: Equivalent Variation) によって計測する。EV は、施策ありの状態での効用水準を維持するという条件の下で施策なしの状態にとどまるために必要と考える最小補償額である。各主体の便益は山崎²⁾を参考に、それぞれ以下のように設定する。

① 家計の便益

$$EV_i = \left(\frac{C_i^{without}}{C_i^{with}}\right)^{\alpha_x} \cdot \left(\frac{R_i^{without}}{R_i^{with}}\right)^{\alpha_A} \cdot I_i^{with} - I_i^{without} \quad (18)$$

$$ZEV_i = EV_i \cdot \frac{n_i^{without} + n_i^{with}}{2} \quad (19)$$

ただし、 EV_i ：家計 1 単位あたりの便益、 $without$ ：当該施策がなかった場合を表す添字、 $with$ ：当該施策があった場合を表す添字、 ZEV_i ：各ゾーンの家計の合計便益である。

② 土地開発者の便益

$$EV_i^D = \frac{1}{2} \left\{ (Q_i^{without} + Q_i^{with})(R_i^{with} - R_i^{without}) - (L_i^{without} + L_i^{with})(r_i^{with} - r_i^{without}) \right\} \quad (20)$$

ただし、 EV_i^D ：各ゾーンの土地開発者の便益である。

③ 地主の便益

$$EV_i^{LH} = \frac{1}{2} (y_i^{without} + y_i^{with})(r_i^{with} - r_i^{without}) \quad (21)$$

ただし、 EV_i^{LH} ：各ゾーンの地主の便益である。

3. 個別施策の分析

本章では単一の施策がもたらす効果を分析する。表-1 に示す施策の効果を、表-2 に示す項目から評価する。評価項目 1,2,3 はコンパクトシティ・プラス・ネットワーク化の指標、評価項目 4,5 は経済的効率性の指標である。なお表中の鉄道沿線地区とは図-1 におけるゾーン 12,8,14,20 をいい、郊外とはゾーン 15~19,21~25 をいう。

施策Iを例にすると、鉄道沿線地区内の家計へ家賃補助をする。具体的には、鉄道沿線地区内の家計への家賃補助額を 1,000 円刻みで 1,000 (円/月) から 20,000 (円/月) まで増加させる。結果を図-3,図-4 に示す。図-3 より補助額が増加するにつれて鉄道沿線地区の人口変化率と建物床面積変化率は 1.00 以上の範囲で増加し、郊外の住宅土地利用面積変化率は 1.00 以下の範囲で減少している。従って表-2 の評価項目 1,2,3 を満たしているため、施策IIはコンパクトシティ・プラス・ネットワーク化に寄与していると言える。図-4 より補助額が増加するにつれて3主体の合計便益は正の範囲で増加し、社会全体の便益は負の範囲で減少している。従って評価項目 5 を満たさないため、施策IIは経済的に効率的であるとは言えない。

同様の分析を施策II, IIIについて行った結果、どちらの施策も評価項目 1,2,3 を満たし、コンパクトシティ・プラス・ネットワーク化に寄与した。またどちらの施策も評価項目 4 を満たしたが評価項目 5 を満たさず、経済的に効率的であるとは言えない結果となった。

表-1 分析する個別施策

施策	支援対象者	パラメータ	その他の便益
I 家賃補助	鉄道沿線地区内の家計	所得 (I_i)	・家賃補助費用 ・移転費用
II 鉄道運賃値下げ	鉄道事業者	鉄道運賃 (P^T)	・鉄道事業者補助費用 ・移転費用
III 住宅整備補助	鉄道沿線地区内の土地開発者	家計への建物床供給量 (Q_i)	・土地開発者補助費用 ・移転費用

表-2 個別施策の評価指標

の指標 ・コンパクトシティ ネットワーク化 の 経済的 効果	評価項目 1	鉄道沿線地区の人口が増加する。	$\frac{\sum_i n_i^{with}}{\sum_i n_i^{without}} > 1$
	評価項目 2	鉄道沿線地区の建物床面積が減少しない。	$\frac{\sum_i A_i n_i^{with}}{\sum_i A_i n_i^{without}} \geq 1$
	評価項目 3	郊外の土地需給量(住宅土地利用面積)が減少する。	$\frac{\sum_i L_i^{with}}{\sum_i L_i^{without}} < 1$
	評価項目 4	3主体の合計便益が非負である。	$\sum_{i=1}^{25} (ZEV_i + EV_i^P + EV_i^{TH}) > 0$
	評価項目 5	社会全体の便益が非負である。	(3主体の合計便益+その他の便益) > 0

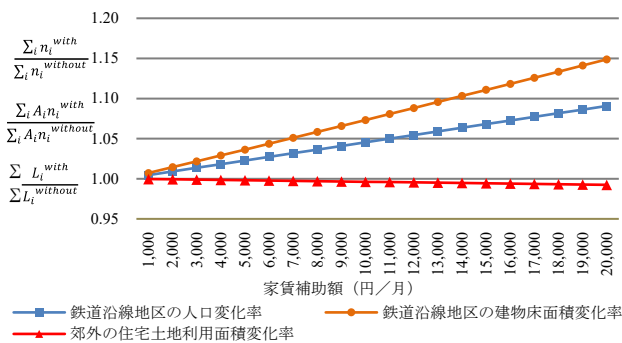


図-3 施策 I の分析結果(評価項目 1~3)

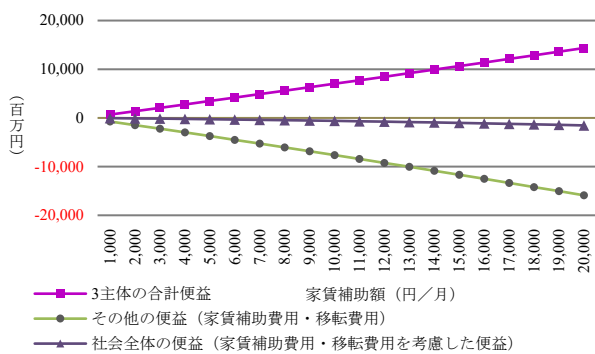


図-4 施策 I の分析結果(評価項目 4~5)

4. パッケージ施策の分析

本章では二つの施策を組み合わせを行った場合の効果を分析する。なお、組み合わせた二つの施策をパッケージ施策といい、例えば、施策Iと施策IIのパッケージ施策は「施策I×II」と記す。

コンパクトシティ・プラス・ネットワークを目指す多くの自治体は、中心地住宅取得助成事業、公共交通沿線家賃助成事業等、家計に対して金銭的なサポートをすることでまちなか居住を推進する事業が多い。またこれらは施策Iの内容に合致している。本稿では施策Iに焦点を当て、施策Iと他の施策のパッケージ施策を感度分析することによって、施策の組み合わせの効果を明らかにする。分析するパッケージ施策を表3に示す。さらにパッケージ施策の評価指標は表2に基づいて表4のように設定する。そして施策の組み合わせの効果を式(22)のようにパッケージ施策による効果から個々の施策の効果を引いた値を評価する。

$$\text{施策の組み合わせの効果} = \{\text{効果A} \times \text{B} - (\text{効果A} + \text{効果B})\} \quad (22)$$

I×IIでは、鉄道沿線地区内に居住する家計の家賃補助と鉄道運賃の値下げを同時に行う。具体的には、鉄道沿線地区内に居住する家計への家賃補助額を 2,000 円刻みで 2,000(円/月)から 10,000(円/月)まで増加させることと、鉄道運賃を 10 円刻みで 50(円/km)から 10(円/km)まで値下げさせることを同時に行う。結果の一部(評価項目 1,4)を図5,図6に示す。評価項目1に関して、図5より {I×II-(I+II)} は全てのパラメータで正の値となっており、施策の組み合わせの効果がある。さらに、家賃補助額と鉄道運賃値下げ額が増加するほどその効果が大きくなっている。評価項目4に関して、図6より鉄道運賃が 50(円/km)では {I×II-(I+II)} が負の値となるが、鉄道運賃が 40(円/km)以下では正の値となり施策の組み合わせの効果がある。さらに、家賃補助額と鉄道運賃値下げ額が増加するほどその効果が大きくなっている。また本稿では詳細を割愛するが、評価項目 2,3,5では全てのパラメータにおいて施策の組み合わせの効果があった。従って施策Iと施策IIIは組み合わせることでコンパクトシティ・プラス・ネットワーク化に大きく寄与することが分かった。また鉄道運賃を 40(円/km)以下に値下げした時、経済的に効率的であることが分かった。

同様の分析を施策I×IIIでも行った結果、全てのパラメータで評価項目1~5を満たした。よって施策Iと施策IIIも組み合わせることでコンパクトシティ・プラス・ネットワーク化に大きく寄与し、経済的にも効率的であることが分かった。

-3 分析するパッケージ施策

パッケージ施策	支援対象者	パラメータ
I×II	・家賃補助 ・鉄道運賃値下げ	・鉄道沿線地区内の家計 ・鉄道事業者
I×III	・家賃補助 ・住宅整備補助	・鉄道沿線地区内の家計 ・鉄道沿線地区内の土地開発者

表-4 パッケージ施策による組み合わせの効果の評価指標

評価指標		組み合わせの効果がある場合
コンパクトシティ・ネットワーク化の指標	評価項目 1	パッケージ施策による鉄道沿線地区の人口変化率が、個別で行った場合の鉄道沿線地区の人口変化率より増加する。 $\{I \times \square - (I + \square)\} > 0$
	評価項目 2	パッケージ施策による鉄道沿線地区の建物床面積変化率が、個別で行った場合の鉄道沿線地区の建物床面積変化率より増加する。 $\{I \times \square - (I + \square)\} > 0$
	評価項目 3	パッケージ施策による郊外の土地需給量変化率(住宅土地利用面積)が、個別で行った場合の郊外の土地需給量変化率(住宅土地利用面積)より減少する。 $\{I \times \square - (I + \square)\} < 0$
経済的効率性	評価項目 4	パッケージ施策による3主体の合計便益が、個別で行った場合の3主体の合計便益より増加する。 $\{I \times \square - (I + \square)\} > 0$
	評価項目 5	パッケージ施策による社会全体の便益が、個別で行った場合の社会全体の便益より増加する。 $\{I \times \square - (I + \square)\} > 0$

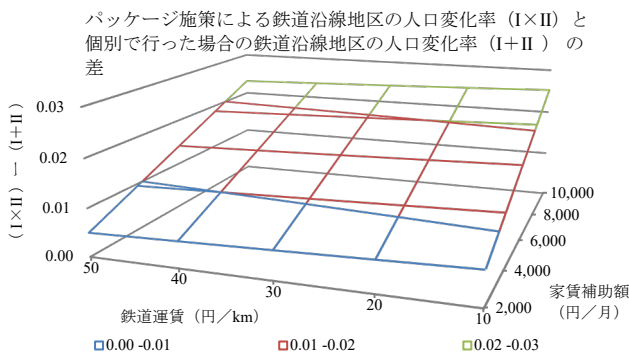


図-5 施策 I × II の組み合わせの効果(評価項目 1)

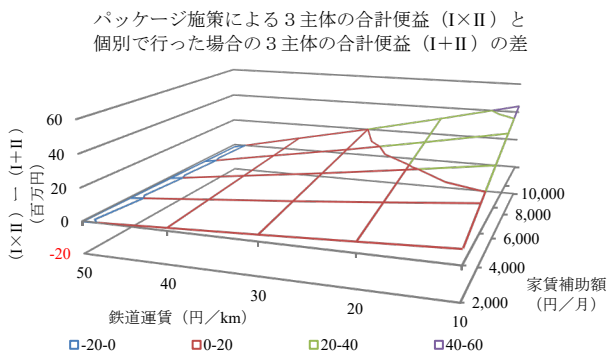


図-6 施策 I × II の組み合わせの効果(評価項目 4)

5. おわりに

個別施策の分析では、鉄道沿線地区内の家計への家賃補助施策、鉄道運賃の値下げ施策、鉄道沿線地区内の土地開発者への住宅整備補助施策が都市構造に及ぼす影響を明らかにした。結果、全ての施策がコンパクトシティ・プラス・ネットワーク化に寄与し、3主体の合計便益が向上したが、社会全体の便益は向上しなかった。社会全体の便益の計測に関して、本分析で考慮した「その他の便益」の内容は表-1の通りだが、実際上は、家計の移転によって不要となったインフラの維持管理費用に相当する便益や自動車利用減少による環境負荷軽減の便益などプラスに作用する便益が存在すると考えられる。

パッケージ施策の分析では、施策の組み合わせの効果を明らかにした。自治体が複数の施策を用いてコンパクトシティ・プラス・ネットワーク化を図る場合には、予算制約の下でそれらを適切に組み合わせる行うことが重要である。

参考文献

- 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, 2022.3.1.閲覧
- 海道 清信: コンパクトシティの計画とデザイン, 学芸出版社, 2007.
- 谷口 守: 都市のコンパクト化と住宅需要マネジメント-住宅不動産の動向をふまえて-, 日本不動産学会誌 No.58, Vol.15, No.3, pp.33-38, 日本不動産学会, 2001.
鈴木 浩: 日本版コンパクトシティ-地域循環型都市の構築, 学陽書房, 2007.
- 堤盛人, 山崎 清, 小池 淳司, 瀬谷 創: 応用都市経済モデルの課題と展望, 土木計画学研究・論文集 Vol.68, No.4, pp.344-357, 2012.
- 小池 淳司, 漆谷 敏和, 山崎 清: 世代別立地行動を考慮した都市経済モデルの開発, 土木計画学研究・講演集 No.41, pp.1-5, 2010.

A MODEL ANALYSIS OF IMPACTS OF COMPACT CITY AND TRANSPORTATION NETWORK POLICIES

Eizo HIDEHIMA, Kosuke KANEKO and Fuko NAKAI