

# マルチエージェントシステムを用いた立地適正化計画の最適化手法

## RESEARCH ON THE OPTIMIZATION OF LOCATION NORMALIZATION PLAN USING THE MULTI AGENT SYSTEM

内田 瑞生\*1

Mizuki Uchida\*1

### 1. 研究背景・目的

急速な人口減少が予想される我が国の多くの地方都市では、将来的に医療・福祉・商業サービスなどの都市機能の維持が困難になる可能性が高く、中心市街地への都市機能の集積が求められている<sup>1)</sup>。さらに、高齢者を始めとする交通弱者の増加が懸念されており、公共交通再編の重要性が高まっている。

これを受け、国は2014年に立地適正化計画制度を創設した<sup>2)</sup>。立地適正化計画を策定した市町村では、公共交通再編と連携して、都市機能の立地誘導を進めることが可能となる。一方で、立地適正化計画では、都市機能の立地誘導や公共交通再編の具体的な方策が示されておらず、市町村は住民や各種施設との合意形成のもと具体的方策を立案しなければならない。そのため、住民・施設・市のいずれにとっても有益な方策立案を可能とする立案支援システムが求められる。

住民など独立した対象の活動やそれらの相互作用を再現可能なシミュレーション手法として、マルチエージェントシステム(MAS)が知られている。長崎ら<sup>3)</sup>は、MASを用いて、モデル上に世帯の活動を再現し、都市のコンパクト化を可能とする土地利用計画支援システムを構築した。また、矢口<sup>4)</sup>は、世帯の生活の質(QOL)と経済効果を評価指標として、MASを用いた都市の縮退政策評価モデルを構築した。しかし、いずれの研究でも住民による施設・公共交通の利用やそれに伴う施設・公共交通の事業の再編については十分に考慮されていない。

そこで本研究では、施設へのアクセス性や施設・公共交通の収益、政策実施コストを予測可能なモデルを構築し、住民・施設・市のいずれにとっても有益な立地適正化計画の最適シナリオを提案する。対象地域として埼玉県本庄市を扱う。本モデルでは、施設の新設・公共交通再編に関する政策を実施した場合の住民の施設へのアクセス性の変化・施設の収益性・市の政策実施コストを推測し、複数のシナリオを評価する。

### 2. モデルの概要

#### 2.1 立地適正化計画の概要

立地適正化計画は、2014年の都市再生特別措置法の一部改正により創設された制度である。立地適正化計画は、特定区域への住宅・都市機能の誘導を行うことを目的としており、市町村は、立地適正化計画の策定により、市街化区域内に新たに都市機能誘導区域・居住誘導区域を設定す

ることが可能となる。

居住誘導区域は、住宅の集積を図る区域として位置づけられ、居住誘導区域外で一定規模を超える住宅を建設する目的での開発行為や住宅の建設行為に対し、事前の届出が必要となる。また、都市機能誘導区域は、医療・福祉・商業などの都市機能の集積を図る区域として位置づけられ、立地誘導を行う施設(誘導施設)が市町村ごとに設定される。

誘導施設は、住民の生活利便性の維持・向上のために必要な施設であると定められており、誘導施設の設定により、都市機能誘導区域外での誘導施設を建設する目的での開発行為や誘導施設の新築などに事前の届出が必要となる。各市町村は、届出に対し、住宅や誘導施設の立地誘導の妨げにならないかを検討し、支障があると判断された場合には、開発規模や立地に関する勧告を行うことができる。

さらに、立地適正化計画では、公共交通との連携により、郊外部など交通が不便な地域に住む住民の都市機能へのアクセス性の維持や居住・都市機能の公共交通沿線への誘導が重視されている。

#### 2.2 対象地域の概要

本研究では、研究対象地域として埼玉県本庄市を扱う。本庄市は、人口78,725人(2017年11月1日時点)、面積89.69km<sup>2</sup>の埼玉県北西部に位置する市であり<sup>5),6)</sup>、近年、既成市街地における人口減少・高齢化が顕著となっている<sup>5)</sup>。これを受け、2017年度中に立地適正化計画の策定が予定されている<sup>8)</sup>。また、市内には交通不便地域が点在しており、現在、市内全域に対応するデマンドバスおよび市街地形成の促進を図るコミュニティバスが自治体の運営により運行している<sup>9),10),11)</sup>。

#### 2.3 本庄市立地適正化計画の概要

本庄市立地適正化計画は、市内に存在する3つの駅周辺の市街地再生を目的とした計画であり、駅周辺に都市機能誘導区域および居住誘導区域が設定されている。市内に存在する駅の概要を表1に示す。

表1 本庄市内の駅

駅名	鉄道名	年間乗車人員 [人]
本庄	高崎線	3,805,848
本庄早稲田	上越新幹線	784,712
児玉	八高線	122,353

※埼玉県, “平成28年統計年鑑 8 運輸・通信” より

(2018年2月23日閲覧)

<http://www.pref.saitama.lg.jp/a0206/a310/a2016ubbyuubbyuub.html>

本庄市立地適正化計画における誘導区域を図1に示す。現行案において、公共公益・医療・福祉・子育て・商業の5種類の都市機能ごとに誘導施設が設定されている。本研究では、表2に示す施設をモデルに組み込むこととする。

### 2.4 シナリオ評価指標およびモデルで再現する事象の検討

本モデルでは、住民・誘導施設・市それぞれにとってのシナリオの有益性を評価するため、住民・誘導施設・市に対して、それぞれ誘導施設へのアクセス性・営業利益・政策実施コストをシナリオ評価指標として設定した。

さらに、住民・誘導施設・市それぞれの評価指標の経年変化を算出するために、評価指標に影響を及ぼす事象を再現した。モデルで再現する事象を図2に示す。本モデルでは、各住民の利用施設を都市機能毎に推測し、各施設の営業利益を算出する。これに基づき、施設の廃止・新設および路線バスの再編が行われ、住民の施設へのアクセス性が決定されるものとした。さらに、これを基に、市の政策実施コストや転入・転出者数を算出した。

## 3. モデルの構築

### 3.1 シナリオ評価指標のモデル内での算出方法

住民・誘導施設・市のシナリオ評価指標のモデル内での算出方法を表3に示す。それぞれの評価指標について、2017年11月から本庄市立地適正化計画の計画目標年である2040年7月の11月までの23年間について、6ヶ月1サイクルとしてシミュレーションを行う。

### 3.2 一般化費用の設定

アクセス性を評価する上では、運賃などの金銭的な移動コストに加えて、移動時間の長さを考慮する必要がある。そこで、時間価値(Value of time)と呼ばれる概念を導入した。時間価値を考慮した移動コストは、一般化費用と呼ばれ、式(1)のように表される<sup>12),13)</sup>。

$$g = vt + c \quad (1)$$

(ただし、 $g$ : 一般化費用[円],  $v$ : 時間価値[円/分])  
 $t$ : 移動時間[分],  $c$ : 移動コスト[円])

本研究では、ロジットモデルを用いて、時間価値 $v$ を決定した。まず、移動による効用 $V_n$ (満足度)を、

$$V_n = \alpha t_n + \beta c_n \quad (2)$$

(ただし、 $\alpha, \beta$ : 定数,  $n$ : 移動手段)

と表す。このとき、時間価値 $v$ は、

$$v = \frac{\alpha}{\beta} \quad (3)$$

となる。さらにロジットモデルより、移動手段 $n$ の選択確率 $P_n$ は、

$$P_n = \frac{\exp V_n}{\sum_{k=1}^n \exp(V_k)} \quad (4)$$

と表される。本研究では、加藤ら<sup>14)</sup>により算出された移動距離10km未満における効用のパラメータを利用した。効用は、1車両あたりの平均乗車人数1.23人を考慮し、

$$V_n = -0.2235t_n + (0.0160 \times 1.23)c_n \quad (5)$$

とする。式(3)より時間価値は、11.4円となる。

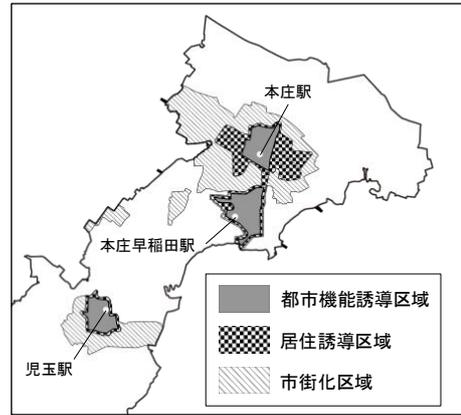


図1 本庄市における区域区分・誘導区域

表2 本庄市立地適正化計画における誘導施設一覧

都市機能	誘導施設
公共公益	市役所
	総合支所
医療	病院(病床数20床以上)
福祉	地域包括支援センター
子育て	保育所
	認定こども園
	地域型保育施設
商業	大規模商業施設 (店舗面積1,000m <sup>2</sup> 以上)

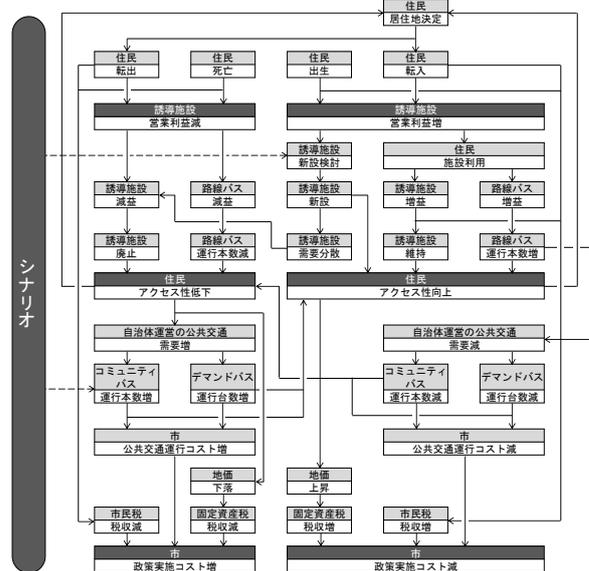


図2 モデルで再現する事象

表3 シナリオ評価指標およびモデル内での算出方法

	シナリオ評価指標	モデル内での算出方法
住民	誘導施設 アクセス性	公共交通利用1回あたりの 一般化費用
誘導施設	営業利益	1施設あたり1ヶ月あたり 営業利益
市	政策 実施コスト	(BAUシナリオに対する) 1ヶ月あたりの公共交通運行コスト増加量 -(BAUシナリオに対する) 1ヶ月あたりの市税収増加量

### 3.3 営業利益の設定

営利目的により運営される医療・子育て・商業施設および路線バスは、営業利益に基づき施設の廃止・新設や運行本数の変更を行うものとする。

営業利益を、

$$\left( \begin{array}{c} \text{利用1回あたり} \\ \text{営業収益} \end{array} \right) \times \left( \begin{array}{c} \text{1ヶ月あたり} \\ \text{施設利用者数} \end{array} \right) - \left( \begin{array}{c} \text{1ヶ月あたり} \\ \text{営業費用} \end{array} \right) \quad (6)$$

より算出する。

営業収益および営業費用は、実績値<sup>15),16),17)</sup>より算出する。また、住民1人あたり1ヶ月あたりの施設利用回数を、性別・年齢階級別・誘導施設別に実績値<sup>18),19),20),21),22)</sup>より算出し、それに基づき、モデル上で各施設の利用回数を算出する。公共交通の利用回数は、施設の利用回数および各移動手段の選択確率より算出する。医療・子育て・商業施設および路線バスは、営業利益が正の場合に、それぞれ施設の維持・運行本数の拡大を行い、負の場合に、それぞれ施設の廃止・運行本数の縮小を行うものとする。また、医療・子育て・商業施設は、収益性がある場所へ新設する。

#### 3.3.1 医療施設の営業利益の設定

2015年度の病院経営管理指標より、一般病院における医業利益1床あたりの医業利益・1床あたり平均外来患者数を表4に示す。

医業利益率は、

$$\left( \begin{array}{c} \text{医業利益率} \end{array} \right) = \frac{\left( \begin{array}{c} \text{医業利益} \\ \text{医業収益} \end{array} \right)}{\left( \begin{array}{c} \text{医業収益} \end{array} \right)} \times 100 \quad (7)$$

と表されるが、ここでは、

$$\left( \begin{array}{c} \text{医業利益} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \text{医業収益} \end{array} \right) - \left( \begin{array}{c} \text{医業費用} \end{array} \right) \quad (8)$$

として、医業費用を算出する。本庄市立地適正化計画では、病床が20床以上の場合に誘導対象となるため、病床20床を基準とする。

$$\left( \begin{array}{c} \text{医業収益} \end{array} \right) = 21,755,000 \times 20 = 435,100,000 \text{ 円/年} \quad (9)$$

$$\left( \begin{array}{c} \text{医業利益} \end{array} \right) = 435,100,000 \times 0.7/100 = 3,045,700 \text{ 円/年} \quad (10)$$

$$\left( \begin{array}{c} \text{医業費用} \end{array} \right) = 435,100,000 - 3,045,700 = 432,054,300 \text{ 円/年} \\ = 432,054,300 \text{ 円/年} \quad (11)$$

$$\left( \begin{array}{c} \text{1ヶ月あたりの} \\ \text{医業費用} \end{array} \right) = \frac{432,054,300}{12} = 36,004,525 \text{ 円/月} \quad (12)$$

となる。また、年間平均外来患者数は、

$$1.6 \times 20 \times 365 = 11,680 \text{ 人/年} \quad (13)$$

となるため、

$$\left( \begin{array}{c} \text{利用1回あたり} \\ \text{医業収益} \end{array} \right) = \frac{432,054,300}{11,680} = 36,991 \text{ 円/回} \quad (14)$$

### 3.3.2 子育て支援施設の営業利益の設定

幼稚園・保育所等の経営実態調査より、私立保育園の経営指標を表5に示す。

これより、

$$\left( \begin{array}{c} \text{営業費用} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \text{児童1人あたりの支出} \end{array} \right) \times \left( \begin{array}{c} \text{平均定員} \end{array} \right) \\ = 1,146,000 \times 94 = 107,724,000 \text{ 円/年} \quad (15)$$

と定める。

施設利用1回あたりの営業収入は、土日祝日を除いた1年間の日数を約248日として、

$$\left( \begin{array}{c} \text{利用1回あたり} \\ \text{営業収益} \end{array} \right) = \frac{107,724,000}{248} = 4,343.7 \text{ 円/回} \quad (16)$$

とする。

#### 3.3.3 商業施設の営業利益の設定

本庄市内に2店舗(児玉南店、児玉バイパス店)を有し、埼玉県を中心に展開している株式会社ヤオコーの平成29年度3月期の決算短信(表6)より大規模商業施設の1ヶ月あたりの営業費用を算出する。

$$\left( \begin{array}{c} \text{営業費用} \end{array} \right) = 343,061,000,000 - 14,520,000,000$$

$$= 328,541,000,000 \text{ 円/年} \quad (17)$$

$$\left( \begin{array}{c} \text{1店舗あたりの} \\ \text{営業費用} \end{array} \right) = \frac{328,541,000,000}{154 \times 12}$$

$$= 177,780,000 \text{ 円/月} \quad (18)$$

とする。

表4 一般病院における経営指標

医業利益率	0.6%
1床あたりの医業収益	21,755,000 円/床・年
1床あたり 平均外来患者数	1.6 人/日

※厚生労働省，“平成27年病院経営管理指標”より

表5 私立保育所の経営指標

児童1人あたりの収入	1,202,000 円
児童1人あたりの支出	1,146,000 円
平均定員	94 人

※厚生労働省，“幼稚園・保育所等の経営実態調査”，Feb.2013. より

表6 株式会社ヤオコー平成29年3月期  
決算短信および平成29年時点の店舗数

営業収益	343,061,000,000 円/年
営業利益	14,520,000,000 円/年
店舗数	154 店舗

※株式会社ヤオコー，“平成29年3月期 決算短信 [日本基準](非連結)”より

次に、施設利用1回あたりの営業収入を算出するため、2016年家計調査より、関東における世帯あたりの食品・日用品に対する合計消費額を算出した。食品・日用品に分類されると判断した商品および年間消費額を表7に示す。

さらに、住民1人あたり1ヶ月あたりの施設利用回数を算出する。公益財団法人日本食肉消費総合センターによる2010年12月の消費動向調査より、1週間の平均買い物回数は、1世帯あたり2.82回であるため、1年あたりの平均買い物回数は、

$$2.82 \times \frac{365}{7} = 147.0 \text{ 回} \quad (19)$$

となる。また、本庄市における平均世帯人員を、2017年11月時点の総人口および世帯数<sup>5)</sup>より

$$\left( \text{平均世帯人員} \right) = \frac{\left( \text{総人口} \right)}{\left( \text{世帯数} \right)} = \frac{78,725}{33,760} = 2.33 \text{ 人} \quad (20)$$

よって、

$$\left( \begin{array}{c} \text{利用1回あたり} \\ \text{営業収益} \end{array} \right) = \frac{1,090,810}{2.33 \times 147.0} = 3180 \text{ 円/回} \quad (21)$$

とする。

### 3.3.4 公共交通の営業利益の設定

公共交通の1人あたりの営業利益は、運賃より算出するものとする。さらに、公共交通の1ヶ月あたりの営業費用を、

$$\left( \begin{array}{c} \text{1分あたり} \\ \text{走行経費} \end{array} \right) \times \left( \begin{array}{c} \text{バス1本あたり} \\ \text{走行時間} \end{array} \right) \times \left( \begin{array}{c} \text{1日あたり} \\ \text{運行本数} \end{array} \right) \times 30 \quad (22)$$

として算出する。

本モデルでは、自動車およびデマンドバスの走行速度を分速433.3m(時速26.00km)、路線バスおよびコミュニティバスの走行速度を、分速250.0m(時速15.00km)とした。コミュニティバスおよびデマンドバスの大きさは、乗用車と同等であるため、走行経費原単位が乗用車と同じであると仮定すると、自動車(デマンドバス)の走行経費原単位はおよそ24.6円/km、路線バスの走行経費原単位は89.42円/km、コミュニティバスの走行経費原単位は28.26円/kmとなる<sup>23)</sup>。

また、走行経費には人件費が含まれていないため、人件費の原価に占める割合を考慮してバスの営業費用を算出する。公共交通における人件費の原価に占める割合は、民営乗合バスでは58.5%(2015年)、タクシーでは72.8%(2010年)である。デマンドバスの運行方法は、タクシーと類似しているため、デマンドバスでは、人件費の原価に占める割合がタクシーと同じ値であると仮定する。

また、走行時間の算出では、人を乗せて走る時間以外の走行時間も考慮するため、実車率を用いて、走行時間を算出した。

$$\left( \text{実車率} \right) = \frac{\left( \text{実車キロ} \right)}{\left( \text{走行キロ} \right)} \times 100 \quad (23)$$

と定義される。ただし、実車キロとは、自動車が実際に貨物や人を乗せて走った距離とされ、走行キロとは、自動車の走った距離を指す。

2016年度自動車輸送統計調査より、乗合バスおよび乗用車(乗車定員10人以下)の実車率は、それぞれ86.76%、44.67%である。デマンドバスの運行方法は、タクシーと類似しているため、乗用車と同様の実車率であると仮定する。

以上より、路線バス・コミュニティバス・デマンドバスの1分あたりの走行経費は、

$$\left( \begin{array}{c} \text{路線バス} \\ \text{1分あたり} \\ \text{走行経費} \end{array} \right) = \frac{89.42}{1000} \times 250.0 \times \frac{100}{100 - 58.8} = 54.26 \text{ 円/分} \quad (24)$$

$$\left( \begin{array}{c} \text{コミュニティバス} \\ \text{1分あたり} \\ \text{走行経費} \end{array} \right) = \frac{28.26}{1000} \times 250.0 \times \frac{100}{100 - 58.8} = 17.14 \text{ 円/分} \quad (25)$$

$$\left( \begin{array}{c} \text{デマンドバス} \\ \text{1分あたり} \\ \text{走行経費} \end{array} \right) = \frac{24.6}{1000} \times 433.3 \times \frac{100}{100 - 72.8} = 39.19 \text{ 円/分} \quad (26)$$

となる。また、路線バス・コミュニティバス・デマンドバスの走行時間は、

$$\left( \begin{array}{c} \text{バス1本あたり} \\ \text{走行時間} \end{array} \right) = \frac{\left( \begin{array}{c} \text{バス1本あたり} \\ \text{実車走行時間} \end{array} \right)}{\left( \text{乗車率} \right)} \quad (27)$$

により算出する。

表7 食品・日用品に分類される商品および年間消費額

商品	1世帯あたり年間消費額
食料	854,092 円
家事用消耗品	27,223 円
医薬品	26,789 円
健康保持用摂取品	14,075 円
保険医療用品・器具	22,948 円
教養娯楽品	73,182 円
書籍・他の印刷物	35,555 円
理美容用品	36,946 円
合計	1,090,810 円

※2016年家計調査より

### 3.4 政策実施コストの設定

本モデルでは、2016 年度の本庄市における市税税収の内訳<sup>24)</sup>のうち上位 86%を占める固定資産税、個人市民税、法人市民税についてモデル上での予測を行う。

本モデルでは、住民 1 人あたりの固定資産税の税収が 250m メッシュごとの地価に比例するものと仮定し、ある月の固定資産税税収を、

$$\left( \begin{array}{c} \text{開始月の} \\ \text{固定資産税} \end{array} \right) \times \frac{\sum \left( \left( \begin{array}{c} \text{ある月の} \\ \text{メッシュ地価} \end{array} \right) \times \left( \begin{array}{c} \text{ある月の} \\ \text{メッシュ人口} \end{array} \right) \right)}{\sum \left( \left( \begin{array}{c} \text{開始月の} \\ \text{メッシュ地価} \end{array} \right) \times \left( \begin{array}{c} \text{開始月の} \\ \text{メッシュ人口} \end{array} \right) \right)} \quad (28)$$

と表す。開始月(2017 年 11 月)の固定資産税税収として、2016 年度の値<sup>20)</sup>を 12 で除した値を用いる。

また、個人・法人市民税は、それぞれ人口・営業利益に比例すると仮定し、開始月の税収に、ある月の人口・営業利益の開始月の人口・営業利益に対する比を乗じて算出する。

### 3.5 エージェントの設定

本モデルでは、メッシュ・住民・誘導施設・停留所の 4 つのエージェントを設定した。住民エージェントを除くエージェントを、**図 3**に示すようにモデル空間に配置した。

#### 3.5.1 メッシュエージェントの設定

メッシュエージェントを、モデル空間に 250 m メッシュに基づき配置した。

2015 年国勢調査地域メッシュ統計および本庄市における 2017 年 9 月時点の年齢別男女別人口より、性別・年齢階層別(5 歳階級)のメッシュ人口を算出し、各メッシュエージェントに変数として与えた。さらに、本庄市立地適正化計画案より都市機能誘導区域・居住誘導区域・市街化区域・その他のいずれかの区域を設定した。

メッシュエージェントは、各施設へのアクセス性に基づき、利用施設および各移動手段の選択確率を決定する。

#### 3.5.2 住民エージェントの設定

住民エージェントには、性別・年齢階層および人口を変数として与え、メッシュエージェントのメッシュ人口変数に基づき、初期値を設定した。

住民エージェントは、メッシュエージェントにより決定された利用施設・移動手段選択確率より、各施設・公共交通の営業利益を算出する。

#### 3.5.3 誘導施設エージェントの設定

平成 27 年 11 月現在、本庄市内に存在する誘導施設 43 施設(公共公益施設 2 施設、医療施設 9 施設、福祉施設 2 施設、子育て支援施設 23 施設、商業施設 9 施設)をモデル空間に配置した。

#### 3.5.4 停留所エージェントの設定

本庄市で運行している朝日自動車および国際十王交通の路線バス停留所に基づき、停留所エージェントを配置した。

### 3.6 施設へのアクセス性の算出・利用施設の決定

住民は、一般化費用が少なくなるよう利用する施設を決定するものとする。

本モデルでは、交通手段として、「徒歩または自転車」「自動車」「バス」の 3 種類を採用した。ただし、バスは、さらに路線バス・コミュニティバス・デマンドバスの 3 種類の公共交通に分類される。また、本モデルでは「自動車」をマイカーと捉えてモデル化する。

「徒歩または自転車」の移動速度を 166.7 m(時速 10.00 km)とし、他の移動手段の移動速度は、3.3.4 と同様に設定した。

また、目的地までの移動時の道路距離は、直線距離よりも長くなるため、直線距離をもとに道路距離を算出した。

今、仮に道路が格子状に整備されているとすると、直線距離で  $d$  m の場所までの平均道路距離  $d'$  は、

$$d(|\cos \theta| + |\sin \theta|) \quad (29)$$

(ただし、 $0 \leq \theta \leq 2\pi$ )

の平均値になる。よって、

$$d' = \frac{\int_0^{2\pi} \{d(|\cos \theta| + |\sin \theta|)\} dx}{2\pi} = \frac{4}{\pi} d \text{ [m]} \quad (30)$$

となる。そこで、直線距離より式(29)を用いて、道路距離を算出することとする。

「徒歩または自転車」または「自動車」を利用する場合、一般化費用が最小となる誘導施設は、道路距離が最も近い施設となる。自動車の移動速度が時速 26 km の場合、走行経費は約 24.6 円/km である。そこで、本モデルでは、

$$\frac{24.6 \times 26}{60} \times t_{car} \text{ [円]} \quad (31)$$

(ただし、 $t_{car}$ : 自動車の移動時間 [分])

により、自動車の移動にかかる費用を算出する。

「バス」を利用する場合、路線バス・コミュニティバス・デマンドバスのうち誘導施設へのアクセス性が最も良い交通手段を選択するものとする。「バス」利用時の利用者の

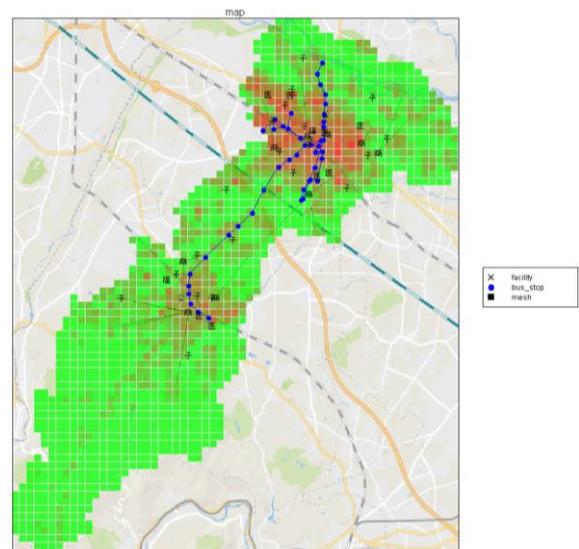


図 3 モデル空間

移動にかかる費用は、バスの運賃であるとする。

国際十王交通の運賃<sup>25)</sup>より、伊勢崎駅・本庄早稲田駅間の道路距離約15kmに対し、初乗り運賃から420円運賃が増額する。そこで、路線バスの運賃を、初乗り運賃100円・乗車1分経過ごとに7円運賃が増額するものとする。また、コミュニティバスおよびデマンドバスの運賃は、実際の運賃<sup>10),11)</sup>に基づき設定する。

「バス」利用時のアクセス性の評価では、バスの種類ごと・路線ごとに算出し、最もアクセス性の高いバス種類および路線を算出する。路線バスおよびコミュニティバス利用時の移動時間 $t_{bus}$ は、

$$t_{bus} = t_{walk} + t_{wait} + t_{transit} \quad (32)$$

$$\left( \begin{array}{l} t_{walk}: \text{歩行時間 [分]} \\ \text{ただし, } t_{wait}: \text{バスの待ち時間 [分]} \\ t_{transit}: \text{乗車時間 [分]} \end{array} \right)$$

により算出する。

ここで、 $t_{walk}$ は、

$$t_{walk} = t_{start} + t_{goal} \quad (33)$$

$$\left( \begin{array}{l} \text{自宅から特定の路線の} \\ t_{start}: \text{最寄りの停留所までの歩行時間 [分]} \\ \text{ただし,} \\ \text{目的地から特定の路線の} \\ t_{goal}: \text{最寄りの停留所までの歩行時間 [分]} \end{array} \right)$$

とする。

ここで、 $t_{wait}$ を、路線バスの運行スパンの2分の1とする。ただし、同一の停留所に複数の路線が通っており、かつ目的地が一致している場合、複数の路線に基づき、バスの待ち時間を算出し、営業収益を按分することとした。

また、 $t_{transit}$ は、停留所間の距離および停留所に停車する順番より算出する。

モデルでは、デマンドバスを住民の最低限のアクセス性を確保するものとする。最低限のアクセス性として、一般化費用の最大値を設定した。

2008年パーソントリップ調査の埼玉県内におけるデータより、代表交通手段がバスのトリップの平均所要時間は41.75分となる。また、平均運賃は、2015年度の全国民営乗合バス年間収入および年間輸送人員より、

$$\begin{aligned} (\text{平均運賃}) &= \frac{(\text{全国民営乗合バス年間収入})}{(\text{年間輸送人員})} \\ &= \frac{568,400,000,000}{3,031,000,000} = 187.5 \text{ 円} \quad (34) \end{aligned}$$

とした。これより、

$$(\text{一般化費用上限値}) = 11.4 \times 41.75 + 187.5 = 663.5 \text{ 円} \quad (35)$$

と設定した。

住民は、路線バスおよびコミュニティバスで誘導施設を利用した場合の一般化費用が、一般化費用上限値の663.5円を超える場合に、デマンドバスを利用するものとし、そ

の場合、住民の公共交通での移動における一般化費用は一律663.5円とする。

以上より、交通手段ごと・都市機能ごとに移動にかかる一般化費用が最小となる施設および移動時の一般化費用が決定される。

さらに、本モデルでは、自動車を利用できない住民を考慮し、移動手段の選択確率を算出した。本庄市内における2017年3月31日時点の乗用車および軽自動車の車両数は、それぞれ31,161台、26,019台である。また、2017年11月時点の本庄市の総人口は78,725人<sup>5)</sup>である。よって、1台あたりの乗車人員を1.23人<sup>14)</sup>とすると、自動車を利用可能な住民の割合は、

$$\frac{30,968 + 26,019 \times 1.23}{78,725} \times 100 = 89.0 \% \quad (36)$$

となる。よって、各移動手段の選択確率は式(4)より、

$$P_{walk} = \frac{\exp V_{walk}}{\exp V_{walk} + \exp V_{car} + \exp V_{bus}} \times 0.89 + \frac{\exp(V_{walk})}{\exp V_{walk} + \exp(V_{bus})} \times 1 - 0.89 \quad (37)$$

$$P_{car} = \frac{\exp V_{car}}{\exp V_{walk} + \exp V_{car} + \exp V_{bus}} \times 0.89 \quad (38)$$

$$P_{bus} = \frac{\exp V_{bus}}{\exp V_{walk} + \exp V_{car} + \exp V_{bus}} \times 0.89 + \frac{\exp(V_{bus})}{\exp V_{walk} + \exp(V_{bus})} \times 1 - 0.89 \quad (39)$$

$$\left( \begin{array}{l} P_{walk}: \text{「徒歩または自転車」の選択確率} \\ \text{ただし,} \\ P_{car}: \text{「自動車」の選択確率} \\ P_{bus}: \text{「バス」の選択確率} \end{array} \right)$$

となる。

### 3.7 自治体運営の公共交通再編の設定

市は、住民の誘導施設へのアクセス性低下に対応して、デマンドバス・コミュニティバスの配備を行うものとする。

デマンドバスは、定時定路線の路線バスやコミュニティバスと異なり、決まった路線を持たないため、公共交通への居住誘導の効果は小さいと推測される。そのため、本モデルでは、デマンドバスを住民の誘導施設への最低限のアクセス性確保を目的としたものであるとした。市は、住民による各種施設利用時の一般化費用が上限値である663.5円を超えた場合、デマンドバス運行回数を増加させるものとする。

デマンドバスの公共交通運行コストでは、住民の誘導施設への最低限のアクセス性を確保するために必要なデマンドバス運行本数を求めた(デマンドバスは乗合人数がなるべく多くなるよう運行されるものとする)。本モデルでは、同メッシュ・同施設間の移動にのみ乗合が発生するものとし、途中で乗車や下車は考慮しない。以上の方法に基づき、公共交通運行コストの算出を行った。

まず、デマンドバスの移動時間(待ち時間を含む)の上限値を、

$$\left( \frac{\text{デマンドバス}}{\text{移動時間上限値}} \right) = \frac{\left( \frac{\text{一般化費用}}{\text{上限値}} \right) - (\text{運賃})}{(\text{時間価値})}$$

$$= \frac{878.5 - 200}{11.4} = 59.5 \text{ 分} \quad (40)$$

とする。

さらに、モデルで算出されたデマンドバスの1ヶ月あたりの総走行時間および1ヶ月あたりの利用者数より、デマンドバス利用者の1人あたり乗車時間を、

$$\left( \frac{\text{1人あたり}}{\text{乗車時間}} \right) = \frac{\left( \frac{\text{1ヶ月あたり}}{\text{デマンドバス総走行時間}} \right)}{\left( \frac{\text{1ヶ月あたり}}{\text{デマンドバス利用者数}} \right)} \quad (41)$$

とする。

さらに、デマンドバス利用者の1人あたり待ち時間上限値は、

$$\left( \frac{\text{1人あたり}}{\text{待ち時間}} \right) = \left( \frac{\text{デマンドバス}}{\text{移動時間}} \right) - \left( \frac{\text{1人あたり}}{\text{乗車時間}} \right) \quad (42)$$

とする。

次に、一日の運行時間を9時間として、デマンドバス利用者の出現頻度、すなわち次のデマンドバス利用者が現れるまでの時間を

$$\frac{9 \times 60 \times 30}{\left( \frac{\text{1ヶ月あたり}}{\text{デマンドバス}} \right) \times \left( \frac{\text{デマンドバス利用}}{\text{メッシュ数}} \right)} \quad (43)$$

により算出した。ここで、デマンドバス利用メッシュ数とは、デマンドバスの利用者数の存在するメッシュの総数を指す。

以上より、デマンドバスの乗合人数を、

$$(\text{乗合人数}) = 1 + \frac{\left( \frac{\text{1人あたり}}{\text{待ち時間上限値 [分]}} \right)}{\left( \frac{\text{デマンドバス利用者}}{\text{出現頻度 [分]}} \right)} \quad (44)$$

により算出する。よって、デマンドバスの営業費用は、

$$\frac{\left( \frac{\text{1分あたり}}{\text{走行経費}} \right) \times \left( \frac{\text{1人あたり}}{\text{乗車時間}} \right) \times \left( \frac{\text{1ヶ月あたり}}{\text{デマンドバス}} \right) \times \left( \frac{\text{デマンドバス}}{\text{利用者数}} \right)}{(\text{乗合人数})} \quad (45)$$

となる。

また、コミュニティバスは、居住誘導区域内における既存の公共交通軸維持を目的として導入された経緯があるため、コミュニティバスを新たに導入する場合、居住誘導区域内で既存の路線バスの路線を走行するものとし、路線

バスの運行本数減少に応じて運行本数の増加を行った。

### 3.8 メッシュ地価の算出

本庄市内の2017年時点の公示地価および都道府県地価調査より、それぞれ異なる基準地における地価を収集した。その後、地価を目的変数、基準地における1ヶ月あたりの一般化費用(モデル上で算出)を説明変数として回帰分析を行った。

回帰分析の結果を、図4に示す。分析の結果、1ヶ月の移動にかかる一般化費用と地価には、 $R = -0.41$ の負の相関がみられた( $p = 0.02 < 0.05$ )。これより、式(46)を得た。

$$P = -4.3861g + 51,339 \quad (46)$$

(ただし、 $P$ : 地価[円/m<sup>2</sup>],  $g$ : 一般化費用[円])

式(46)より250mメッシュごとに地価を算出した。

### 3.9 住民の転入・転出の設定

埼玉県の各市町村の2017年1月1日時点の推計人口および2017年2月1日時点までの1ヶ月間の推計転入・転出者数<sup>26)</sup>より1ヶ月間の転入率および転出率を算出した。さらに、埼玉県内の2017年1月時点の公示地価より、市町村ごとの平均公示地価を算出した。その後、各市町村の転入率・転出率を目的変数、各市町村の平均地価を説明変数としてそれぞれ回帰分析を行った。

転入率と平均地価の回帰分析結果を、図5に示す。分析の結果、地価と1ヶ月間の転入率には、 $R = 0.71$ の強い正の相関がみられた( $p = 1.58 \times 10^{-10} < 0.05$ )。これにより、

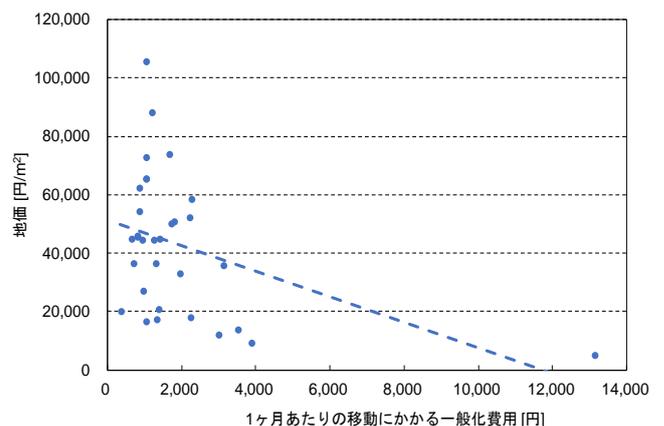


図4 一般化費用と地価の関係

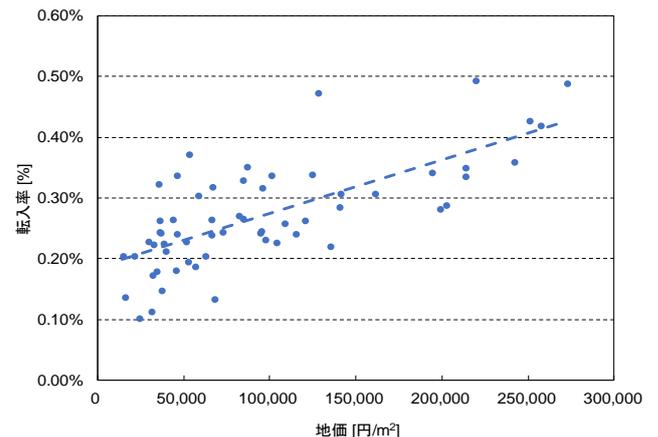


図5 地価と転入率の関係

式(47)を得た

$$r_{in} = 8.8354 \times 10^{-9} \times P + 0.0018678 \quad (47)$$

（ただし、 $r_{in}$ :1ヶ月あたり転入率[%]  
P:地価[円/m<sup>2</sup>]

次に、転出率と平均地価の回帰分析結果を、図6に示す。分析の結果、地価と1ヶ月間の転入率には、 $R = 0.54$ の正の相関がみられた ( $p = 8.55 \times 10^{-6} < 0.05$ )。これにより、式(48)を得た。

$$r_{out} = 5.8620 \times 10^{-9} \times P + 0.0021676 \quad (48)$$

（ただし、 $r_{out}$ :1ヶ月あたり転出率[%]  
P:地価[円/m<sup>2</sup>]

モデルでは、式(47),(48)を用いて250mメッシュごとのメッシュ人口を算出し、転入・転出者数を経時的に予測した。メッシュ人口の初期値として、平成27年(2015年)国勢調査の地域メッシュ統計より250mメッシュの人口データを用いた。また、2016年住民基本台帳人口移動報告より、本庄市における転入者・転出者の性別・年齢階級ごとの転入・転出者数に基づき、性別・年齢階級ごとの割合を算出し、モデル上での転入・転出者の性別・年齢階級を決定した。

### 3.10 シナリオの提案

都市機能の立地誘導および公共交通再編の連携を考慮し、立地適正化計画の具体的方策に関するシナリオを複数提案する。本モデルでは、誘導施設の新設に関する条件およびコミュニティバスの導入に関する条件の組み合わせによりシナリオを提案した。

シナリオに与える条件を表8に示す。誘導施設の新設に関する条件として、立地を指定の範囲に限定する直接的制限および既存施設の収益性保護を新設条件として課す間接的制限を導入する。直接的制限では、新設可能区域を各誘導区域または市街化区域に定める。さらに、公共交通沿線(停留所から、一般的な高齢者徒歩圏とされる<sup>27)</sup>500m圏内を指すものとする)外における新設制限の方針を設定する。間接的制限では、特定の範囲に建つ既存施設の収益

性保護を新設条件として定め、新設により保護対象となった施設の営業利益が負となる場合には新設できないものとする。保護対象となる範囲は、各誘導区域および公共交通沿線の2通りの方法で定める。

また、シナリオごとにコミュニティバスの新規導入の有無を定める。

以上の条件の組み合わせにより、表9に示すBAUシナリオを含む計11通りのシナリオを提案した。シナリオは、それぞれ生活利便性・営業利益・政策実施コスト削減を重視するシナリオに大別される。

生活利便性重視シナリオでは、それぞれマイカー・公共交通を重視する2シナリオを提案した。

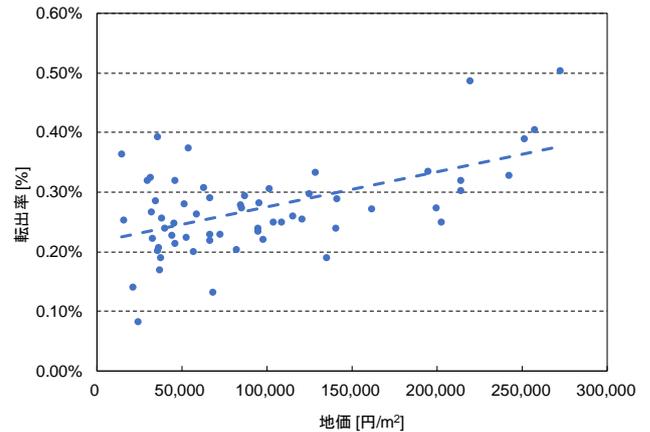


図6 地価と転出率の関係

表8 立地適正化シナリオに与える条件

分類	条件	種類	
新設	直接的制限	新設可能な区域	都市機能誘導区域
			居住誘導区域
			市街化区域
	間接的制限	公共交通沿線外における新設が可能か	はい
			いいえ
		既存施設の収益性保護の対象となる区域	居住誘導区域
公共交通	コミュニティバスの新規導入の有無	都市機能誘導区域	
		収益性を確保しない	
	公共交通沿線の既存施設の収益性を確保するか	はい	
		いいえ	
		はい	
		いいえ	

表9 シナリオ一覧

シナリオ	内容		新設				公共交通 コミュニティバス 新規導入	
			直接的制限		間接的制限			
			区域	公共交通	区域	公共交通		
A	BAUシナリオ(制限なし)		市街化	いいえ	なし	いいえ	いいえ	
B	生活利便性重視	マイカー重視	居住誘導	いいえ	居住誘導	いいえ	いいえ	
C		公共交通重視	居住誘導	はい	居住誘導	はい	はい	
D	営業利益重視	競争重視	市街化	いいえ	なし	いいえ	はい	
E		維持重視	市街化	いいえ	居住誘導	はい	はい	
F		施設凝集	都市機能誘導	いいえ	都市機能誘導	いいえ	はい	
G	政策実施コスト削減重視	コミュニティバス新規導入	公共交通軸維持	市街化	はい	なし	はい	
H			施設凝集かつ公共交通軸維持	都市機能誘導	はい	都市機能誘導	はい	はい
I	コミュニティバス新規導入せず	コミュニティバス新規導入せず	施設凝集	都市機能誘導	いいえ	都市機能誘導	いいえ	いいえ
J			公共交通軸維持	市街化	はい	なし	はい	いいえ
K			施設凝集かつ公共交通軸維持	都市機能誘導	はい	都市機能誘導	はい	いいえ

また、営業利益重視シナリオでは、それぞれ施設間の競争を重視するシナリオおよび施設の維持を重視するシナリオの2つを設定した。

さらに、政策実施コスト削減シナリオでは、コミュニティバス新規導入時・非導入時それぞれに対し、施設凝集を強く推進するシナリオおよび公共交通軸の維持を強く推進するシナリオ、両方を強く推進するシナリオの3シナリオを提案した。

#### 4. シナリオの評価

シナリオの評価結果を表10、図7に示す。

移動にかかる一般化費用・1施設あたり1ヶ月あたりの営業利益・政策実施コストのいずれにおいても、BAUシナリオであるシナリオAより優れた結果となったシナリオは、シナリオFとシナリオIであった。

シナリオFとIでは、1施設あたり1ヶ月あたりの営業利益に大きな差はない一方で、シナリオFにおける公共交通利用1回あたりの一般化費用はシナリオIに比べ大幅に小さい。

両シナリオとも、市にとって政策実施は有益であるため、シナリオFが最適なシナリオと考えられる。

#### 5. まとめ・今後の展望

本庄市立地適正化計画の方策として、新設可能区域を都市機能誘導区域と限定した上で、同区域誘導施設の収益性確保を行うことにより施設凝集を強く推進することが有効であることがわかった。これに加え、コミュニティバスを導入し既存の公共交通軸を維持することにより、住民の移動にかかる一般化費用を大幅に改善することがわかった。

今後は、住民による施設の複合的利用や、複合的施設を扱えるようモデルを改良し、都市機能集積が都市構造に及ぼす影響をさらに詳細に検討する。

<参考文献>

- 国土交通省，“都市機能立地支援事業 都市再構築戦略事業（都市再生整備計画事業の活用）～持続可能な都市構造への再構築を目指して～”，Apr.2016.
- 国土交通省，“都市再生特別措置法等の一部を改正する法律案について”，Feb.2014. (2017年11月3日閲覧) [http://www.mlit.go.jp/report/press/toshi07\\_hh\\_000079.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/toshi07_hh_000079.html)
- 長崎浩紀，渡辺公次郎，近藤光男，“世帯の空間分布予測モデルを用いた土地利用計画支援システムの開発”，日本建築学会計画系論文集，Vol.74，No.636，pp.409-416，Feb.2009.
- 矢口彰久，“マルチエージェントシステムを用いた住民QOLと経済効果からみた都市縮退政策に関する研究”，第17回MASコンペティション発表論文，Mar.2017.
- 本庄市，“平成29年世帯人口等一覧”，(2018年2月20日閲覧) <http://www.city.honjo.lg.jp/ikkrwebBrowse/material/files/group/14/setai3001.pdf>
- 本庄市，“本庄市一行知識”，<http://www.city.honjo.lg.jp/ikkrwebBrowse/material/files/group/22/itigyoudf>
- 本庄市，“本庄市立地適正化計画(案)”，2017.
- 本庄市，“本庄市立地適正化計画について”，(2017年11月3日閲覧) <http://www.city.honjo.lg.jp/kurashi/sumai/1478592642807.html>
- 本庄市，“本庄市総合交通計画《みんなで支える公共交通の充実に向けて》”，Mar.2013. (2017年11月3日閲覧) [http://www.city.honjo.lg.jp/ikkrwebBrowse/material/files/group/3/koutukeikaku\\_h.pdf](http://www.city.honjo.lg.jp/ikkrwebBrowse/material/files/group/3/koutukeikaku_h.pdf)
- 本庄市，“はにぼん号・もといずみ号 利用案内”(2017年11月3日閲覧) <http://www.city.honjo.lg.jp/soshiki/kikaku/zaisei/kikaku/tantoujouhou/koukyoukoutuu/a/kikaku1001.html>
- 本庄市，“はにぼんシャトル 利用案内”(2017年11月3日閲覧) <http://www.city.honjo.lg.jp/kurashi/bosai/koutsuu/1381281352870.html>
- 斎藤 参郎，山城 興介，梶井 昌郎，中嶋 貴昭，“都心における買物客の時間価値の計測とその応用”，地域学研究 Vol. 33 (2002-2003) No. 3 P 269-286
- 山内 弘隆，竹内 健蔵，“交通経済学”，有斐閣アルマ，pp.82-91，Jun.2002.
- 加藤浩徳，“交通の時間価値の理論と実際”，技報堂出版，pp.162-182，Jul.2013

表10 立地適正化シナリオに与える条件のまとめ

シナリオ	公共交通利用 1回あたりの 一般化費用	1施設あたり 1ヶ月あたり 営業利益	政策 実施コスト
A(BAU)	574.4 円	148.4 百万円	0.0 百万円
B	571.5 円	169.1 百万円	950.9 百万円
C	320.7 円	181.1 百万円	347.3 百万円
D	384.5 円	145.3 百万円	-734.9 百万円
E	334.7 円	133.1 百万円	2059.1 百万円
F	304.7 円	220.9 百万円	-2645.3 百万円
G	336.1 円	161.6 百万円	2342.3 百万円
H	332.2 円	202.6 百万円	919.2 百万円
I	560.9 円	229.0 百万円	-4451.4 百万円
J	542.5 円	174.1 百万円	2389.0 百万円
K	548.5 円	196.1 百万円	2443.0 百万円

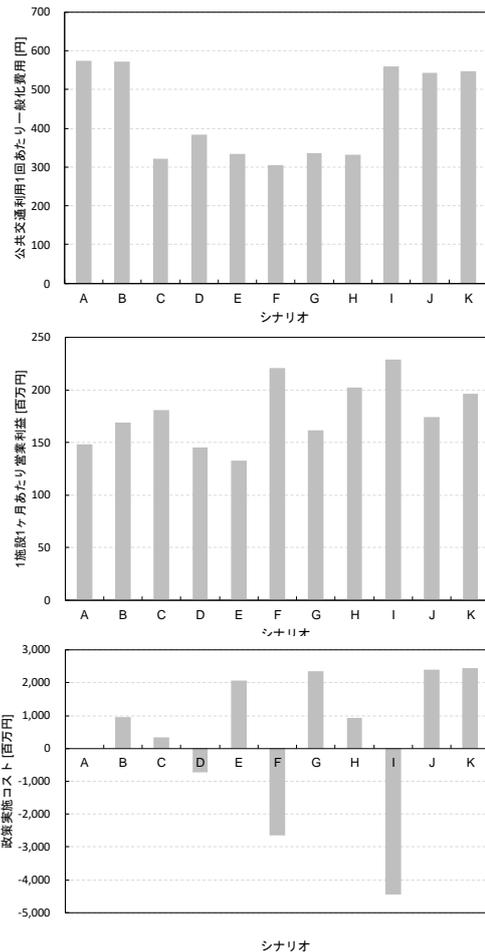


図6 シナリオ評価結果

- 厚生労働省，“平成27年度病院経営管理指標”，2015.
- 厚生労働省，“幼稚園・保育所等の経営実態調査”，Feb.2013.
- 株式会社ヤオコー，“平成29年3月期決算短信”，Mar.2017.
- 本庄市，“公共施設利用並びに今後のあり方に関するアンケート調査”，2014.
- 厚生労働省，“平成26年患者調査”，2014.
- 厚生労働省，“保育所入所待機児童数(平成26年10月)”，Oct.2015. (2017年11月3日閲覧) <http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/0000122615.html>
- 公益財団法人 日本食肉消費総合センター，“消費動向調査”，2010年
- 総務省統計局，“平成28年社会生活基本調査”，2016.
- 道路事業の評価手法に関する検討委員会，“時間価値原単位および走行経費原単位(平成20年価格)の算出方法”，Nov.2008.
- 本庄市，“平成28年度 本庄市一般会計特別会計予算書及び予算説明書”，2017.
- 国際十王交通，“伊勢崎線～本庄駅北口～本庄早稲田駅”本庄早稲田 (2018年2月20日閲覧) [http://www.juo.co.jp/route\\_bus/isesaki\\_waseda/](http://www.juo.co.jp/route_bus/isesaki_waseda/)
- 埼玉県，“埼玉県推計人口(月報データ) 平成29年(2017年)”，2017.
- 国土交通省，“都市構造の評価に関するハンドブック”，Aug.2014.