

栃木県宇都宮市におけるLRT整備の都市内人口分布への 長期的影響を考慮した費用便益分析

Cost-benefit analysis of development of LRT considering change
in population distribution in the long-run in Utsunomiya city, Japan

佐藤徹治研究室 1574010 佐々木拓哉

1. はじめに

わが国の地方都市では、一般に自家用車の交通手段分担率が高く、公共交通の衰退による子どもや高齢者といった交通弱者の問題が顕在化している都市が多い。欧米では多くの都市で1990年代以降、自動車交通削減による環境負荷の軽減、交通弱者の移動手段の確保等を目的としてLRT (Light Rail Transit) が導入された。

日本では、1997年に熊本市、1999年に広島市で既存の路面電車の軌道に新型車両の導入が開始され、その後多くの路面電車運行都市で同様の取り組みがなされた。一方、富山県富山市では、LRTを歩いて暮らせる公共交通を中心とするまちづくりの中核に位置付け、新設区間も含むLRT整備を進めている。2006年に富山駅北口と市北部の富山港(岩瀬浜)を結ぶポートルム、2009年に富山駅南口から市中心部を環状運行するセントラムが開業し、さらに2020年頃のJR富山駅の全線高架化に合わせ、ポートルムとセントラムの直通運転を予定している。

栃木県宇都宮市では、2019年度にJR宇都宮駅から宇都宮市の東に隣接する芳賀町の芳賀・高根沢工業団地までの約15kmのLRT新規路線の開業が予定されており、その後東武宇都宮駅までの延伸計画もある。

本研究では、LRT等の公共交通の整備が将来時系列の都市内人口分布に及ぼす影響の推計手法を開発する。さらに、開発した手法を用いて栃木県宇都宮市を対象に、LRTのみ整備、LRTおよびフィーダーバスの整備、いずれも整備なしの状況における2040年までの都市内人口分布の推計を行い、LRT・フィーダーバス整備の費用便益分析を行う。

2. 人口分布推計モデルの構築

2-1 モデルの概要

モデルは、コーホート要因法を基本とし、自然増減、対象都市以外からの転入、対象都市以外への転出、都市内での社会移動を考慮したゾーン別人口を5年単位で推計する体系とする。ただし、都市内での社会移動については、世帯の転居先地域選択行動を踏まえた、住宅タイプ別の住宅地(住宅床)の需要、不在地主の住宅地(住宅床)供給、住宅地(住宅床)需給均衡(価格調整)により決定されることを仮定する。即ち、本研究のモデルは、一般的なCUEモデル¹⁾²⁾における住宅地市場(世帯の立地行動)を時系列および住宅タイプ別に拡張したものとなっている。モデルのフローを図-1に示す。

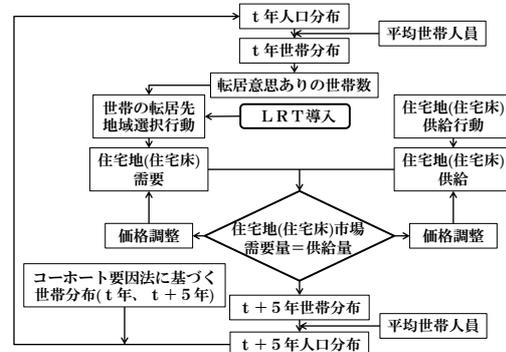


図-1 モデルのフロー

2-2 世帯の行動

世帯は、転居意思のある世帯とない世帯に大別され、転居意思ありの世帯は、交通利便性等に影響される効用水準に基づき転居先の希望住宅タイプ別に転居先地域を選択すると仮定する。転居先地域の選択確率は、(1)式のロジットモデルとして表すことができる。

$$P_{ik}^t = \frac{\exp(\theta \cdot U_{ik}^t)}{\sum_i \exp(\theta \cdot U_{ik}^t)} \quad (1)$$

ここで、 P_{ik}^t はt年にタイプkの住宅に転居を希望する世帯のゾーンiの選択確率を表す。効用水準は(2)、(3)式で表されると仮定する。

$$U_{ik}^t = V_{ik}^t + \tau_k \quad (2)$$

$$V_{ik}^t = a_k \cdot \ln(ZA_{ik}^t) + b_k \cdot \ln(ZB_{ik}^t) + c_k \cdot \ln(ZC_{ik}^t) + d_k \cdot \ln(ZD_{ik}^t) + e_k \cdot \ln(r_{ik}^t) \quad (3)$$

U は効用水準を表し、部分効用 V とその他の要因 τ の和で定義される。 ZA は自宅から最寄りの鉄道・LRT駅・バス停までの所要時間、 ZB は最寄り鉄道・LRT駅・バス停から鉄道・LRT・バスによる中心駅までの所要時間、 ZC 、 ZD はその他の住環境評価項目である。また、 r は地代(集合住宅の場合は家賃)である。

1世帯あたりの住宅地(集合住宅の場合は住宅床)需要面積は、一般的なCUEモデルを参考に(4)式で表されると仮定する。

$$L_{ik}^t = \frac{b_k}{r_{ik}^t} \cdot y \quad (4)$$

ここで、 L は1世帯あたりの住宅地(住宅床)需要面積、 y は所得を表す。

3. 実証モデルの構築

3-1 対象地域

対象都市は、2019年度にLRTの新規開業が予定されている栃木県宇都宮市および芳賀町とする。分析対象とするLRTの整備区間は、当初の優先整備区間であるJR宇都宮駅から芳賀・高根沢工業団地（芳賀町）までの約15kmとする。

対象圏域は、宇都宮市と芳賀町のうち2010年時点で市街化区域かつ供給可能面積や世帯数が0ではない地域とする。ゾーン区分は世界測地系500mメッシュとし、計456メッシュとなる。対象圏域とゾーン区分を図-2に示す。

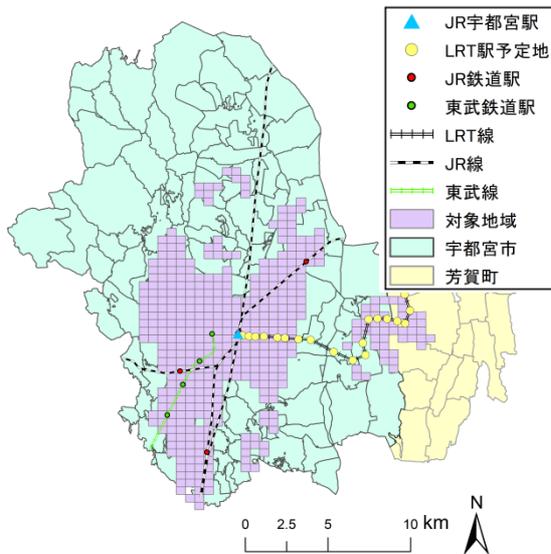


図-2 対象圏域とゾーン区分

3-2 アンケート調査

対象地域の住民の転居意向（転居意思のある住民の割合）を把握するとともに、(3)式の説明変数（ ZC 、 ZD ）を決定し、パラメータを住宅タイプ別に推定するため2段階での住民アンケート調査を実施する。

第1段階目の調査（プレアンケート調査）では、個人属性や転居先の希望住宅タイプ、最寄りの鉄道駅までの近さ等の各項目の重視度、各項目の許容できる概ねの目安等を尋ねる。調査項目の詳細を表-1に示す。調査は2015年9月29日にポスティングとJR宇都宮駅での配布、郵送回収により行った。計1000部を配布し、回収数188部（回収率18.8%）であった。

なお、戸建の場合、(3)式における r は地代であるが、回答者が地代水準を想定しづらいと考えられること、裁定条件より「地価＝地代／利子率」が成り立つことから、住民アンケート調査、(3)式のパラメータ推定においては、地代の代理変数として地価を用いている。

各項目の重視度の集計結果を図-3に示す。非常に重視している、または重視していると回答した割合は、「食品スーパーまでの近さ」が最も高く、80%を超える。次に、「河川氾濫による被害リスクの小ささ」、「土砂崩れに

よる被害リスクの小ささ」が高い割合となっており、災害への関心が強いことが分かる。また、職場・通学先までの近さ、最寄り鉄道駅までの近さ、子どもの小学校・中学校までの近さなど公共施設や日常生活に関わる施設へのアクセス性を重視していることが読み取れる。

表-1 プレアンケート調査項目

1. 個人属性	
・年齢・性別・職業	・1ヶ月あたりの生活費
・世帯人数	・鉄道の利用頻度
・自家用車の利用頻度	・最寄り鉄道駅までの時間及び手段
・バスの利用頻度	・最寄りバス停までの時間及び手段
・住居タイプ	・職場の場所及び自宅からの所用時間
・居住年数	
2. 転居先での希望住宅タイプ	
・転居先の住宅タイプ	・転居先の床面積
・転居先の土地面積	
3. 転居選択の際の重視度、許容できる概ねの目安	
・職場・通学先までの近さ	・子供の小学校・中学校までの近さ
・最寄り鉄道駅までの近さ	・金融機関までの近さ
・最寄りのバス停までの近さ	・総合病院までの近さ
・JR宇都宮駅までの近さ	・町医者・クリニックまでの近さ
・東武宇都宮駅までの近さ	・公園までの近さ
・インターチェンジまでの近さ	・実家や親類宅までの近さ
・国道までの近さ	・地域コミュニティ活動の充実度
・食品スーパーまでの近さ	・土砂崩れによる被害リスクの小ささ
・コンビニまでの近さ	・河川氾濫による被害リスクの小ささ
・大型商業施設までの近さ	・地価・家賃の低廉さ
・役所までの近さ	

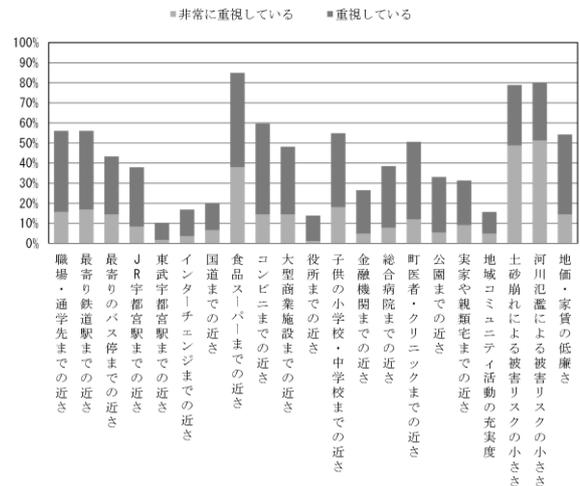


図-3 転居先地域選択の際に重視する項目

第2段階目の調査（プロフィールアンケート調査）では、まず1～5年以内の宇都宮市内・市外への転居の意思について尋ねる。次に、各説明変数の水準を組み合わせたプロフィールを作成し、3つの条件の中で最も望ましい条件1つを選択してもらう問題を4度繰り返す。なお、転居先の希望住宅タイプは、戸建、集合住宅（30㎡、50㎡、70㎡、90㎡）に限定し、プロフィールを作成する。各評価項目の水準は、プレアンケート調査における許容目安の回答結果に基づき3水準設定し、L12(3⁵)型の直交表に割り付けて決定する。

プロフィールアンケート調査は2回に分けて実施した。1回目は、2015年11月19日にJR宇都宮駅から東西南北各方向に自動車10分、20分、30分圏の地区を対象にポスティングで配布し、郵送で回収した。配布数は各地区200部、合計2400部とし、回収数は289部（回収率12.0%）、このうち有効回答数は199部であった。2回目

は、主に集合住宅の住民を対象に 2016 年 9 月 29 日実施した。配布、回収方法は 1 回目と同様である。配布地区は各地区 150 部、合計 1200 部とし、回収数は 77 部（回収率 6.4%）、このうち有効回答数は 67 部であった。2 回の調査の配布地域を表-2 に示す。

表-2 プロファイルアンケート配布地域

		JR宇都宮駅からの所要時間（自動車）		
		10分圏	20分圏	30分圏
1 回目	東部	東峰	鎧山町	米室町
	西部	桜2、3、4、5丁目	駒生町	田野町
	南部	茂原町	宮の内3丁目	陽南4丁目
	北部	岩曾町	中岡本町	白沢
		10分圏	20分圏	30分圏
2 回目	東部	泉ヶ丘	清原台	—
	西部	一条	鶴田町	—
	南部	梁瀬町	雀の宮	—
	北部	竹林町	下岡本町	—

3-3 効用関数のパラメータ推定

(3)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、戸建・集合住宅別、20~30代・40~50代別に最尤法により行う。効用関数のパラメータ推定結果を表-3 に示す。

表-3 効用関数のパラメータ推定結果

住宅タイプ 年齢	戸建		集合住宅	
	20~30代	40~50代	20~30代	40~50代
	係数	t値	係数	t値
α	-0.16 (-0.52)	-	-0.16 (-0.71)	-3.47 (-0.02)
β	-0.63 (-1.52)	-	-0.43 (-1.12)	-0.01 (-0.64)
γ	-1.24 (-3.65**)	-0.17 (-0.81)	-0.45 (-1.70*)	-0.30 (-1.37)
δ	-1.58 (-7.78**)	-1.43 (-12.15**)	-0.90 (-6.18**)	-0.51 (-3.31**)
ϵ	-1.47 (-2.66**)	-1.44 (-4.14**)	-1.86 (-4.30**)	-0.93 (-4.30**)
N	188	296	136	104
対数尤度	-131.53	-149.89	-116.20	-82.38

()内は t 値 ** : 1%有意、* : 10%有意

4. ゾーン毎の基礎データの設定

構築したモデルを用いて将来の人口分布推計を行うためには、初年時（2010年）における地価・家賃、各種施設までの所要時間、想定最大浸水深等のデータをゾーン毎に設定する必要がある。

地価については、宇都宮市の地価公示データを用いて地価関数(5)式を推定し、ゾーン毎に推計する。

$$r = \alpha + \beta \cdot Z_1 + \gamma \cdot Z_2 + \delta \cdot Z_3 \quad (5)$$

ここで、 Z_1 は最寄り駅ダミー（JR・東武宇都宮駅：0、その他：1）、 Z_2 は最寄り駅までの道路距離、 Z_3 は容積率である。パラメータの推定結果を表-4 に示す。

表-4 地価関数のパラメータ推定結果

	係数	t値
定数項	29,253.04	4.11
最寄り駅ダミー	-29,041.20	-6.18
最寄り駅までの道路距離	-7.37	-7.90
容積率	355.57	16.78
N	107	
決定係数	0.85	

注) ()内は t 値、*は1%有意

家賃（床面積別）は、宇都宮市の平均家賃（床面積別）を平均地価で割り、各メッシュの地価を乗じて算出する。

平均家賃は SUUMO より算出し、平均地価は国土交通省の平成 27 年地価公示価格より求める。

(3)式における Z_A 、 Z_C の所要時間は、徒歩による所要時間を想定し、各 500m メッシュの重心からの直線距離を道路距離に変換するために 1.166 を掛け、分速 80m で除すことにより求める。最寄りの鉄道駅から JR 宇都宮駅までの鉄道所要時間は、NAVITIME より算出する。最寄りのバス停から JR 宇都宮駅までのバスによる所要時間は、関東自動車株式会社とアットとちぎの時刻表検索を用いて算出する。想定最大浸水深は、宇都宮市洪水ハザードマップを基に 4 区分（0m, 0.5m, 1.0m, 2.0m）に設定する。

(4)式の所得は、市町村税課税状況（総務省）における市町村別データを用いる。(4)式の住宅地（床）需要関数のパラメータ b は、2010 年時点の平均住宅地（床）需要量と平均住宅地（床）面積が等しくなるように設定する。(3)式以外のパラメータを表-5 に示す。

表-5 効用関数以外のパラメータ

	戸建	集合住宅
b	0.291	0.064
θ	1	

供給可能面積は、戸建ての場合は住宅地転用可能と思われる、田、その他の農用地、建物用地（空き家率 16.3% を乗じたもの）の合計とし、集合住宅の場合はこれに用途地域別の容積率を乗じて算出する。

5. LRT 整備が将来の人口分布に与える影響

(1)~(4)式、各関数のパラメータ、ゾーン別の基礎データを用いることで将来時系列の人口分布を推計することができる。なお、転居意思ありの世帯比率は、プロフィールアンケート調査結果より表-6 のとおり設定する。

表-6 転居確率（5年毎）

戸建		集合住宅	
20~30代	40~50代	20~30代	40~50代
9.91%	3.63%	6.37%	2.25%

ここでは、LRT 整備が 2020 年に完了したと仮定し、将来の人口分布推計を行う。整備される LRT 駅および各 LRT 駅から JR 宇都宮駅までの所要時間は宇都宮市公式 Web サイト³⁾より設定する。

なお、LRT の新設駅が整備されることにより JR 宇都宮駅までの所要時間が短縮されるメッシュは 18 メッシュのみであり、現状の路線バスによる所要時間と比較して短縮がほとんど見られない。そのため、本分析では、新設される LRT 駅と隣接メッシュを結ぶフィーダーバスが整備あり、なしの場合を仮定し、分析を行う。2040 年における LRT 整備による人口の変化率（（整備ありー整備なし）/整備なし）を図-4 に示す。所要時間の短縮が僅かであるため人口の増減率は小さく、宇都宮東部

のみ人口増加が確認できる。LRT 整備と同時にフィーダーバスを導入した場合の人口の変化率を図-5に示す。フィーダーバスを導入しない場合と比較してフィーダーバスの導入により LRT 駅の近隣メッシュにおいて人口増加が見られる。フィーダーバスを導入したにも関わらず、人口が減少しているメッシュが存在するが、この要因として LRT とフィーダーバスを利用した場合より、既存の路線バスによる JR 宇都宮駅までの所要時間が短いことが考えられる。

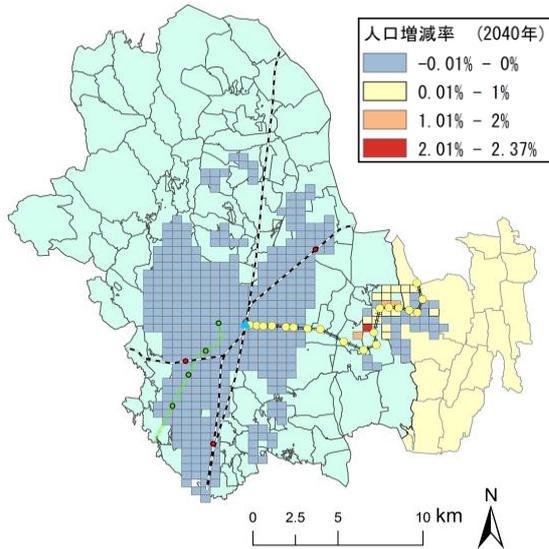


図-4 LRT 整備による人口分布への影響

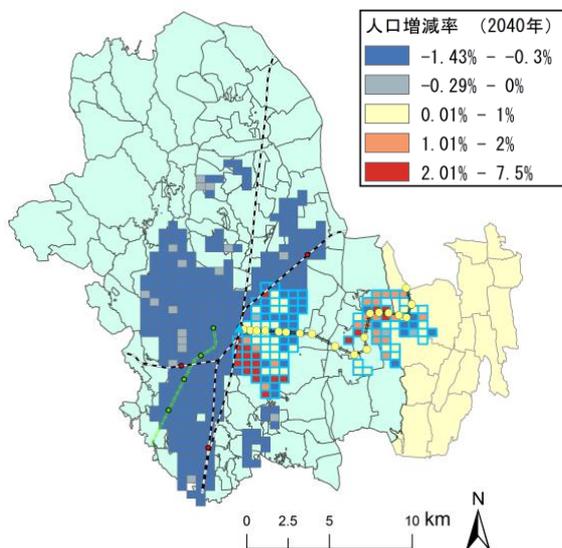


図-5 フィーダーバスを考慮した LRT 整備による人口分布への影響

6. 費用便益分析

LRT のみの整備、LRT およびフィーダーバスの整備の費用便益分析を行う。ここで、各年の世帯の便益は、EV の定義に従い、推定された効用関数を用いて(6)式からゾーン毎に求めることができる。

$$EV_{ik}^t = \frac{V_{ik,with}^t - V_{ik,out}^t}{V_{ik,out}^t} y \quad (6)$$

ここで、with は LRT のみ整備した場合または LRT とフィーダーバスを整備した場合、out はいずれも整備なしの場合である。

各年の便益は、世帯あたり便益に各年の世帯数を乗じることによりゾーン毎に求め、対象圏域全体で合計することにより求める。なお、自宅から JR 宇都宮駅までの移動を除く利用者便益、供給者便益、交通事故減少便益等については宇都宮市の試算値を用いる。

表-7 に費用便益分析の結果を示す。フィーダーバスを導入した場合、導入しない場合と比較して費用が増加するが、便益がそれ以上に増加するため B/C は大きくなっており、LRT 整備に合わせて、フィーダーバスの導入が効果的であることが示唆される。

表-7 人口分布の変化を考慮した費用便益分析結果 (百万円)

	B/C	便益	費用
フィーダーバスなし	1.019	60,719	59,616
フィーダーバスあり	1.134	72,142	63,618

7. まとめ

本研究では、都市内における LRT 等の公共交通整備が将来時系列の人口分布に及ぼす影響を推計可能なモデルを構築し、栃木県宇都宮市と芳賀町を対象に LRT やフィーダーバスの整備あり、なしの場合の 2010~2040 年 (5 年毎) の人口分布推計を行った。推計の結果、LRT 整備、LRT とフィーダーバスの整備は世帯の転居行動、将来の人口分布に一定の影響を及ぼすことが示唆された。さらに、人口分布推計の結果を用いて費用便益分析を行った結果、LRT に加えフィーダーバスを整備することの有用性が確認された。

なお、本研究の実証分析では、鉄道、路線バスによる所要時間を用いているが、平均待ち時間 (運行頻度) や運賃は考慮されていない。これらを考慮した分析や宇都宮市のマスタープランに記載されている「ネットワーク型コンパクトシティ」に沿った施策の効果分析は今後の課題としたい。

参考文献

- 1) 上田孝行, 堤盛人, 武藤慎一, 山崎清: 我が国における応用都市経済モデル-特徴と発展経緯-, 計画・交通研究会 ワーキングペーパーシリーズ, No.9-3, 2009.
- 2) 宮城俊彦, 奥田豊, 加藤人士: 数理最適化手法を基礎とした土地利用・交通統合モデルに関する研究, 土木学会論文集, No.518, pp.95-105, 1995.
- 3) 宇都宮市役所公式 Web サイト
www.city.utsunomiya.tochigi.jp (最終閲覧 2017.1.30)
- 4) 佐々木拓哉, 佐藤徹治 (2016): LRT 整備による都市内世帯分布への長期的影響分析, 都市計画論文集, Vol.51, No.3, pp.715-721.