

土地・住宅市場の実態と交通運賃を考慮した都市内交通整備評価のための都市モデル

An urban economic model to evaluate transportation development
considering actual situation of land use market and transportation fare

佐藤徹治研究室 1874017 高杉 叡生

1. はじめに

我が国では、今後も人口減少や高齢化が進行すると予測されていることから、多くの都市で公共交通を軸としたコンパクトシティの形成の実現を目指し、新たな公共交通の整備、または検討が行われている。今日では、LRT (Light Rail Transit: 次世代型路面電車システム) やBRT (Bus Rapid Transit: 次世代型バス高速輸送システム) が注目されている。これらの公共交通は、これまで整備されたモノレールや地下鉄と比べ、乗降が容易であることや、建設費・維持管理費も安価である上、定時性にも優れている。その中でも、2006年にLRTが開業した富山市は、公共交通の整備による居住者誘導の成功事例であり、JR富山港線をLRTに転換したことにより、沿線の住宅着工件数が増加した。

LRT等の公共交通の導入を行う際には、地域住民や道路利用者等に対して、投資に見合う整備効果がどれほどあるかを論理的かつ定量的に明示することが望ましい。また、公共交通をはじめとする社会資本は、継続的に効果が得られるため、中・長期的に整備効果を検証することが重要である。一般的に、公共交通の整備効果を検証するには利用者数(需要)の推計を行う。公共交通の利用者数は、沿線の人口により左右される。また、沿線の人口は、運行頻度や運賃水準の影響を受けると考えられる。

都市モデルを用いて公共交通整備が都市内人口分布に与える影響分析を行った研究は、佐々木ら(2016)¹⁾、富岡ら(2018)²⁾、高杉ら(2018)³⁾などが挙げられる。しかし、これらの研究は、運賃水準や住宅市場における住宅床の競合を考慮していない。そこで、本研究では、LRTの整備の有無や、運賃水準に加え、集合住宅と戸建て住宅による住宅床の競合や、年齢階層による転居先地域選択行動の違いを考慮したモデルを構築した。また、石川県金沢市を対象に、2025~2040年の都市内人口分布の推計を5年毎に行い、LRT整備ありと整備なしの場合を比較した。なお、運賃が都市内人口分布に及ぼす影響を考慮するため、LRTの運賃が一律150円の場合と200円の場合に分けて推計を行った。

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。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、すべてのゾーンにおいて、住

宅床(住宅地)の需要量と不在地主による住宅床(住宅地)の供給量が等しくなるまで、家賃(地価)を調整し、需給均衡した時点で各世帯の転居先地域が決定すると仮定する。即ち、本研究のモデルは、一般的な立地均衡モデルを時系列に拡張したものとした。モデルフローを図-1に示す。なお、人口分布の推計は、転居先住宅タイプ別(戸建て住宅・集合住宅)に分けたモデル(以下:基本モデル)と、各住宅タイプ間の床の競合を考慮し、1つの床市場に統合するとともに年齢階層別の転居先地域選択行動の違いを考慮したモデル(以下:改良モデル)の2つのモデルにより行った。

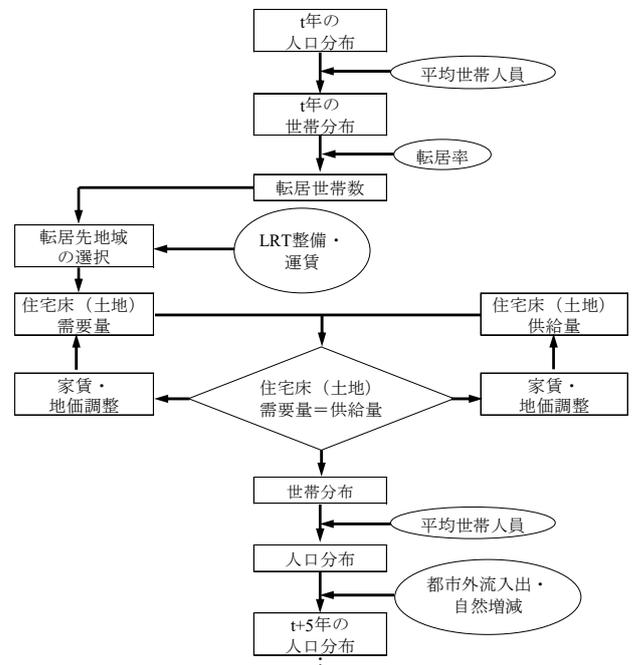


図-1 モデルフロー

2-2 基本モデル

(1) 世帯の行動

世帯を、転居意思のある世帯とない世帯に分け、転居意思ありの世帯は、公共交通による中心部までの所要時間や運賃などに影響される効用水準に基づく転居先地域を選択すると仮定する。家計の転居先地域選択行動は、分散選択行動の分析に用いられることが多いロジットモデルで表現する。(1)、(2)式の効用最大化問題を解き、(3)式のロジットモデルが導かれる。

$$E_k^t = \max_{P_k^t} \sum_i \left(P_{ik}^t U_{ik}^t - \frac{1}{\theta_k} P_{ik}^t \ln P_{ik}^t \right) \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \sum_i P_{ik}^t = 1 \quad (2)$$

$$P_{ik}^t = \frac{\exp(\theta_k \cdot U_{ik}^t)}{\sum_i \exp(\theta_k \cdot U_{ik}^t)} \quad (3)$$

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。 U は効用水準、 E は期待最大効用、 P は転居先ゾーン選択確率を表す。効用 U は(4)式の通り、部分効用 V と部分効用で表現できないゾーン固有の魅力（調整項） τ の和で定義されるものとする。

$$U_{ik}^t = V_{ik}^t + \tau_{ik} \quad (4)$$

部分効用 V は (5)式のように表されると仮定する。

$$V_{ik}^t = \alpha + \alpha' \text{dage} + \beta_k \mathbf{Y}_{ik}^T \quad (5)$$

α は定数項、 dage は世帯主の年代ダミー、 \mathbf{Y}^T は効用の要素の転置ベクトルとする。なお、 α は定数項、 α' は年代ダミーのパラメータ、 β は効用の要素のパラメータのベクトルである。1 世帯あたりの住宅床（住宅地）の需要面積は、一般的な立地均衡モデルを参考に(6)式で表されると仮定する。住宅床（住宅地）の需要面積は、(7)、(8)式の通り、1 世帯あたりの需要面積に各ゾーンへ転入した世帯数を乗じることにより求められる。

$$L_{ik}^t = \frac{h_k}{r_{ik}^t} I_{ik}^t \quad (6)$$

$$D_{ik}^t = L_{ik}^t N_{ik}^t \quad (7)$$

$$N_{ik}^t = P_{ik}^t N_{Tik}^t \quad (8)$$

ここで、 L は、1 世帯あたりの需要面積、 I は、世帯年収（万円）、 D は住宅床（住宅地）需要量、 N は転入した世帯数、 N_T は転居した総世帯である。

(2) 不在地主の行動

不在地主による住宅床（住宅地）の供給量は、(9)、(10)式の利潤最大化問題を解き、(11)式の通り算出される。

$$\pi_k^t = \max_{S_k^t} \sum_i \left[r_{ik}^t S_{ik}^t - C(S_{ik}^t) \right] \quad (9)$$

$$\text{s.t. } C(S_{ik}^t) = -\sigma_{ik} \bar{S}_{ik}^t \ln \left(1 - \frac{S_{ik}^t}{\bar{S}_{ik}^t} \right) \quad (10)$$

$$S_{ik}^t = \left(1 - \frac{\sigma_{ik}}{r_{ik}^t} \right) \bar{S}_{ik}^t \quad (11)$$

ここで、 π は利潤、 C は管理コスト、 S は住宅床（住宅地）供給面積、 r は家賃・地価、 \bar{S} は供給可能面積を表す。

(3) 住宅床（住宅地）の需給均衡

住宅床（住宅地）市場で需要と供給が均衡し、各ゾーンの市場均衡価格（家賃・地価）と立地量が決定される。

$$D_{ik}^t(r_{ik}^t) = S_{ik}^t(r_{ik}^t) \quad (12)$$

(4) 供給可能面積の更新

供給可能面積は、毎期変化する。 $t+5$ 年の供給可能面積は、 $t \sim t+5$ 年の間の家計の増減数に影響を受けるものとし、(13)式により算出する。

$$\bar{S}_{ik}^{t+5} = \bar{S}_{ik}^t + (N_{ik}^{t+5} - N_{ik}^t) L_{ik}^t \quad (13)$$

2-3 改良モデル

改良モデルでは、転居先住宅タイプの異なる世帯による住宅床の競合を考慮するために、各住宅タイプ別の床を統合するものとする。また、年齢階層別の転居先地域選択行動の違いを考慮するため、係数に年齢別のダミーを考慮したモデルとした。

$$V_i^t = \gamma + \sum_i (\delta + \delta' \text{dage}) \mathbf{Z}_i^T \quad (14)$$

γ は定数項、 dage は年代ダミーの対角行列、 \mathbf{Z}^T は効用の要素の転置ベクトルとする。なお、 δ は効用の要素のパラメータのベクトルであり、 δ' は年代ダミーのパラメータのベクトルである。改良モデルにおける(6)式の土地需要パラメータ h を表-1 で示す。 h は、年代毎に、各ゾーンの平均家賃と平均年収から推計した。なお、ロジットパラメータ θ は、推計が困難であるため、本研究では 1 とした。なお、世帯年収については、後述のアンケート調査により年代毎の平均値を使用し、1 世帯あたりの平均住宅敷地面積は、SUUMO より 129.79 m^2 とした。

表-1 住宅需要パラメータ h

	20代以下	30代	40・50代	60代以上
h	2.470	1.533	1.239	1.841

3. 実証モデルの構築

3-1 対象地域

本研究の対象都市は石川県金沢市とした。対象圏域は金沢市の都市計画区域（市街化と市街化調整区域）のうち、住宅床・住宅地を供給可能な地域とした。平成 27 年の国勢調査によると、都市計画区域の人口は金沢市の約 96.2% であり、市民の多くが同区域内に居住しているため、分析対象の地域をこのように定めた。分析の単位地域は世界測地系平面直角座標系で市街化区域を 500m メッシュ、市街化調整区域を 1km メッシュとした。なお、住宅供給可能面積が 0、世帯数が 0、または国土数値情報から容積率のデータが得られなかったメッシュは対象にしないこととした。以上より、500m メッシュが 342 メッシュ、1km メッシュが 107 メッシュの計 449 メッシュを対象とした。

3-2 アンケート調査

対象地域の住民の転居意向を把握するとともに、(5)式のパラメータを推定するために、アンケート調査を行った。アンケート調査では、5 年以内の金沢市内・市外への転居の意思、個人属性（性別・年齢など）を尋ねた。さらに、遠藤（2008）⁴⁾を参考に、L18(2¹×3⁷)型直交表に基づ

き作成した仮想的な 18 の物件を 5 段階で評価して頂いた。なお、現在の住居タイプ（戸建て住宅・集合住宅（分譲）・集合住宅（賃貸）40㎡未満/40㎡以上）と同様の住居に転居することを前提とし、回答して頂いた。戸建て住宅の仮想物件を評価する調査票を図-2 に示す。

アンケート調査は、2018 年 11 月 3・4 日に金沢市の 15 の有人出張所から半径 1~2km 圏内で無作為に抽出した戸建て住宅、集合住宅各 1000 戸に対し配布を行い、回収は郵送で行った。

	最寄りの公共交通	最寄り駅・停留所まで(徒歩)	中心部までの運賃	中心部までの乗車時間	小学校まで(徒歩)	河川氾濫最大浸水深	土砂災害リスク	地価円/㎡	評価
例)	LRT	5分	200円	15分	14分	0.5m	あり	7.7万	4
1	鉄道	5分	150円	10分	6分	0m	あり	4.8万	
2	LRT	5分	200円	15分	14分	0.5m	あり	4.8万	
3	バス	5分	250円	20分	22分	2m	あり	4.8万	
4	鉄道	15分	200円	10分	14分	2m	あり	4.8万	
5	LRT	15分	250円	15分	22分	0m	あり	4.8万	
6	LRT	25分	200円	20分	6分	2m	なし	4.8万	
7	バス	15分	150円	20分	6分	0.5m	あり	7.7万	
8	LRT	25分	250円	10分	6分	0.5m	あり	7.7万	
9	バス	25分	150円	15分	14分	2m	あり	7.7万	
10	鉄道	25分	200円	20分	22分	0m	あり	7.7万	
11	バス	5分	200円	10分	22分	0.5m	なし	7.7万	
12	鉄道	5分	250円	15分	6分	2m	なし	7.7万	
13	LRT	5分	150円	20分	14分	0m	なし	10.6万	
14	LRT	15分	150円	10分	22分	2m	なし	10.6万	
15	バス	15分	200円	15分	6分	0m	なし	10.6万	
16	鉄道	15分	250円	20分	14分	0.5m	なし	10.6万	
17	バス	25分	250円	10分	14分	0m	なし	10.6万	
18	鉄道	25分	150円	15分	22分	0.5m	なし	10.6万	

図-2 アンケート調査票の一部（戸建て住宅）

3-3 効用関数のパラメータ設定

(5)、(14)式のパラメータ推定は、アンケート調査における仮想物件の評価結果の個票データを用いて最小二乗法により行う。改良モデルの(14)式推定結果を、表-2に示す。 $const$ は定数項、 $d60$ は世帯主が 60 代以上ダミー（60 代以上：1、その他：0）、 $d30$ は世帯主が 30 代ダミー（30 代：1、その他：0）、 $d20$ は 20 代以下ダミー（20 代以下：1、その他：0）、 r は家賃（万円/月）、 dR は鉄道ダミー（最寄りの公共交通が鉄道：1、それ以外：0）、 dL は LRT ダミー（最寄りの公共交通が LRT：1、それ以外：0）、 $T1$ は最寄り駅・停留所までの徒歩による所要時間（分）、 $T2$ は最寄り駅・停留所から市中心部までの所要時間（分）、 F は市中心部までの公共交通の運賃（円）、 $Z1$ は小学校までの徒歩時間（分）、 $Z2$ は河川氾濫浸水深（m）、 $Z3$ は土砂災害リスクダミー（土砂災害リスクあり：1、なし：0）とした。なお、最寄り駅・停留所から金沢市中心部までの所要時間は、NAVITIME による 1 日の平均時間を採用した。また、最寄り駅・停留所までの所要時間は、各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、森田ら（2014）⁵⁾を参考に金沢市の道直比係数 1.351 を乗じて、分速 80m で除することで求めた。

表-2 改良モデルのパラメータ推計結果

	係数	t値
$const$	4.9124	(27.970)
r	-0.0371	(-3.901**)
$d60 \times r$	-0.0328	(-2.045*)
dR	0.2335	(4.6022**)
dL	0.2591	(5.0317**)
$T1$	-0.0466	(-13.315**)
$d60 \times T1$	0.0162	(2.8644**)
$T2$	-0.0256	(-4.186**)
F	-0.0710	(-4.957**)
$Z1$	-0.0206	(-5.306**)
$d60 \times Z1$	0.0147	(2.2907**)
$Z2$	-0.7329	(-8.681**)
$d20 \times Z2$	0.1835	(2.4913**)
$Z3$	-0.7329	(-10.797**)
$d60 \times Z3$	0.6166	(5.3249**)
$d20 \times Z3$	-0.5694	(-4.103**)
サンプル数N	3556	
決定係数 R^2	0.2215	

注) **は1%有意、*は10%有意

3-4 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推計を行うため、初年時（2015 年）における家賃・地価、各種施設までの所要時間、想定最大浸水深、土砂災害リスクの有無等、データをゾーン毎に設定する。地価については、(15)式を推定し、ゾーン毎に推計する。なお、地価関数の推定には、金沢市の地価公示データ（2015 年度）を用いた。家賃は、金沢市の平均家賃（床面積別）を平均地価で割り、これに各メッシュの地価を乗じて算出する。なお、改良モデルの平均家賃は、戸建て住宅・集合住宅別、床面積別に分けずに算出した。

$$\ln(r_i) = f(\ln(X1_i), \ln(X2_i), X3_i, X4_i, X5_i, X6_i) \quad (15)$$

ここで、 $X1$ は前面道路幅員（m）、 $X2$ は最寄り駅まで道路距離（m）、 $X3$ は第一種低層住居専用地域ダミー、 $X4$ は商業地域ダミー、 $X5$ は用途地域外ダミー、 $X6$ は金沢駅ダミー（最寄り駅が JR 金沢駅・北鉄金沢駅:1、その他:0）を表す。

表-3 地価関数の推計結果

定数項	$\ln(X1)$	$\ln(X2)$	$X3$	$X4$	$X5$	$X6$
12.432	0.124	-0.228	-0.204	0.578	-0.528	0.534
(24.472)	(1.632*)	(-3.409**)	(-1.631*)	(4.685**)	(-2.912**)	(3.055**)

決定係数 $R^2=0.636$

注) ()内はt値、*は10%有意、**は1%有意

4. LRT整備が人口分布に与える影響分析

4-1 概要

各関数のパラメータ、ゾーン別の基礎データを用いて、以上の式を解くことで将来時系列の人口分布を推計することができる。5 年以内に金沢市内への転居意思のある世

帯比率はアンケート調査より表-4の通りとした。LRTは2020年に整備された場合を仮定する。なお、LRT整備による人口増減率は、((整備あり-整備なし)/整備なし)で算出する。

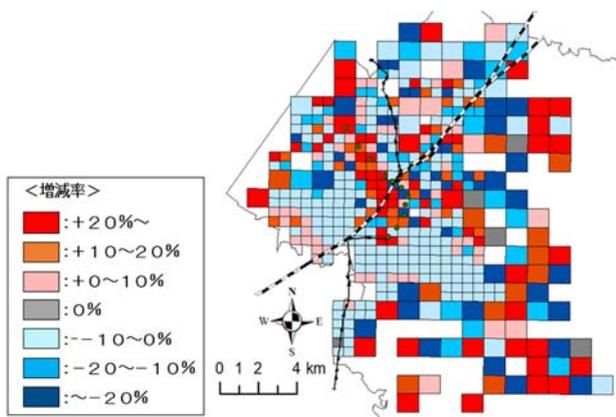
表-4 金沢市内への転居率(5年以内)

20代以下	30代	40・50代	60代以上
53.57%	29.17%	11.11%	4.10%

4-2 分析結果

改良モデルで推計したLRT整備による2040年の都市内人口分布(人口増減率)は図-3、表-5の通りである。

<運賃150円>



<運賃200円>

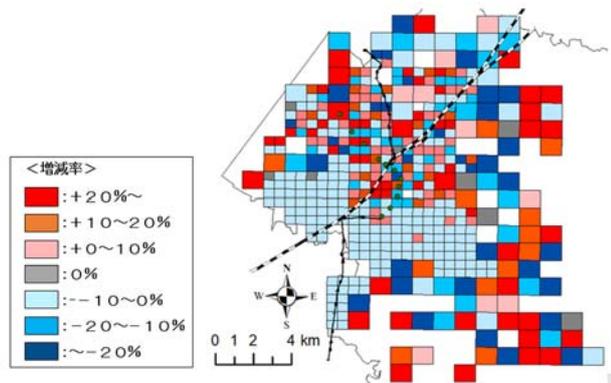


図-3 LRT整備による人口分布の増減率(2040年)

分析結果から、LRT整備をした場合、LRT沿線に人口が集中することが分かった。さらに、運賃150円のLRT整備は、2040年のLRT沿線の人口を約13%増加させ、沿線外の人口を約2%減少させることが示された。LRT沿線の人口は、運賃150円の場合の方が、運賃200円の場合より集中することが分かった。

また、LRTを整備した場合、市街化調整化区域をはじめとするLRT沿線以外の一部の地域で人口が増加しているが、この原因として、LRT整備なしの場合よりも家賃が大幅に低くなっていることが考えられる。

表-5 LRT整備による都市内人口分布(人)

年	地域	LRT整備		
		なし	あり(150円)	あり(200円)
2025	LRT沿線	62,161	67,702 (+8.91%)	62,318 (+0.25%)
	LRT沿線外	399,888	394,347 (-1.39%)	399,731 (-0.04%)
2030	LRT沿線	61,356	68,744 (+12.04%)	62,738 (+2.25%)
	LRT沿線外	394,529	387,141 (-1.87%)	393,147 (-0.35%)
2035	LRT沿線	60,233	66,540 (+10.47%)	61,001 (+1.28%)
	LRT沿線外	387,421	381,114 (-1.63%)	386,653 (-0.20%)
2040	LRT沿線	58,786	66,582 (+13.26%)	59,898 (+1.89%)
	LRT沿線外	377,765	369,969 (-2.06%)	376,653 (-0.29%)

()内はLRT整備なしと比較した場合の人口増減率、LRT沿線は、LRT停留所から400m以内とする。

5. まとめ

本研究では、公共交通の整備有無・運賃水準や災害リスクの有無などが転居先地域選択行動に与える影響を分析でき、戸建て住宅と集合住宅による住宅床の競合を考慮した都市モデルを構築した。石川県金沢市を対象にLRT整備による都市内人口分布への推計を時系列に行った。本モデルでは、係数ダミーを採用して、年代毎の転居先地域選択行動の違いを表現することができた。

本研究のモデルでは、各地域とも年代毎の転居率を一定とした他、各世帯の世帯人数を各年の平均世帯人員とした。施策による転居率の変化や、家族構成の実態などを踏まえた都市モデルの構築は今後の課題として挙げられる。

参考文献

- 1) 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, Vol51, No3, pp.715-721
- 2) 富岡秀虎・森本秀虎(2018): CUEモデルを用いたLRT導入による人口誘導効果に関する研究, 都市計画論文集, Vol53, No3, pp.1348-1354
- 3) 高杉叡生・佐藤徹治・竹間美夏(2018): LRT・BRTの違いおよび都市内人口分布への影響を考慮した整備便益の計測, 都市計画論文集, Vol53, No3, pp.1341-1347
- 4) 遠藤加奈子(2008): コンジョイント分析を用いた大卒女性の集合決定における影響分析, 一ツ橋大学公共政策大学院・公共経済プログラム集, Vol53, No3, pp.1348-1354
- 5) 森田匡俊・鈴木克哉・奥貫圭一(2014): 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研究(2014), GIS-理論と応用, Vol22, No.3, pp.1-7