

交通立地統合均衡モデルによる金沢市への LRT 導入の影響分析

中山 晶一朗¹・磯貝 優太²・山口 裕通³

¹正会員 金沢大学 融合研究域融合科学系 (〒920-1192 金沢市角間町無番地)

E-mail: nakayama@staff.kanazawa-u.ac.jp (Corresponding Author)

²学生会員 金沢大学大学院 自然科学研究科環境デザイン学専攻 (〒920-1192 金沢市角間町無番地)

E-mail: isoyou@stu.kanazawa-u.ac.jp

³正会員 金沢大学 理工研究域地球社会基盤学系 (〒920-1192 金沢市角間町無番地)

E-mail: hyamaguchi@se.kanazawa-u.ac.jp

本研究では、新しい公共交通システムとして LRT (次世代型路面電車システム) を取り上げ、LRT 事業が交通・立地に及ぼす影響について分析可能な交通立地統合均衡モデルを用いて、金沢市の実ネットワークを対象としたパラメータ推定を行い、LRT 事業が金沢市に及ぼす影響についての分析を行う。

Key Words: *Unified transportation and landuse equilibrium model, Light Rail Transit, impact analysis*

1. はじめに

新交通システムを導入すると、都市圏の人々の交通行動が変化する。交通行動のみならず、所要時間の短縮や旅行時間の頑強性などの新交通システムの特性により、居住地選択や企業立地にも影響を及ぼすことが考えられる。既往研究においては、新交通システムの導入効果は交通費用の減少や交通混雑の解消などの直接効果を中心に評価されてきた。しかし、新交通沿線の利便性が向上することによる企業の立地数の増加や雇用の創出といった間接的な効果を予測可能なモデルはまだ発展の余地がある。直接効果と間接効果双方を考慮するモデルの開発は、環境問題や少子高齢化などの問題を抱える我が国にとって重要であるといえよう。

本研究では、新しい公共交通システムとして LRT (次世代型路面電車システム) を取り上げ、LRT 事業が交通・立地に及ぼす影響について分析可能なモデル (交通立地統合均衡モデル) を用いて、金沢市の実ネットワークを対象としたパラメータ推定を行い、LRT 事業が金沢市に及ぼす影響についての分析を行う。

2. 交通立地統合均衡モデル

これまでに交通ネットワーク均衡と立地を取り扱ったモデルとして、Anas(1985)¹⁾や赤松・半田 (1996)²⁾がある。しかし、これらのモデルでは、通常交通ネットワーク均衡で考慮されている経路選択に加えて、立地としては、個人の居住地選択のみしか取り入れられていない。本研究では、これらのモデルを拡張し、企業立地も考慮できる以下に述べる交通立地統合均衡モデルを用いる。

(1) 仮定条件

本研究で用いる交通立地統合均衡モデルでは、次のような仮定を設けている。

- 1) 一日のうち通勤交通が卓越しており、通勤交通のみを考慮する
- 2) 単純化のために、各世帯には1名の従業者 (労働者) がおり、その行動のみをモデル化する
- 3) 従業者の行動としては、勤務地選択・居住地選択・通勤の経路選択の3つのみを考える
- 4) 単純化のため、企業は1種類のみを考える
- 5) 企業行動としては、どのゾーンに立地するのかという立地のみとし、必要な従業者数や資本・土地は一定とする
- 6) 土地は、居住用・企業用の2種類のみを考える
- 7) 従業者の3つの選択はネスティッドロジット、企業立地と土地所有者の行動は多項ロジットとし

て定式化する

(2) 従業者行動

従業者の行動は、勤務地選択、居住地選択、経路選択の3つの選択によって構成され、図-1に示すようなネスト構造を持つネスティッドロジットモデルによって表現されるとする。

経路の選択は、経路の所要時間によって以下の式のように表現する。これは、従業者は経路の所要時間が小さい経路を選択するというを表す。

$$f_k^{ij} = q_{ij} \frac{e^{-\theta_3 c_k^{ij}}}{\sum_{k \in K} e^{-\theta_3 c_k^{ij}}} \quad (1)$$

次に、居住地の選択であるが、居住地の選択は地代と居住地と勤務地とのゾーン間の期待最小コストによって決まるとする。これは、地代が小さく、期待最小コストが小さい居住地を選択するということを表わしている。

$$q_{ij} = y_i \frac{e^{-\theta_2 (r_i + \sigma_{ij})}}{\sum_{j \in J} e^{-\theta_2 (r_i + \sigma_{ij})}} \quad (2)$$

勤務地の選択確率は、以下の式によって与えられるとする。

$$y_i = n \frac{e^{-\theta_1 (\sigma_i - W_i)}}{\sum_{i \in I} e^{-\theta_1 (\sigma_i - W_i)}} \quad (3)$$

ここで、 f_k^{ij} : ゾーン i からゾーン j への経路 k の交通量、 q_{ij} : OD_{ij} の交通量、 y_i : ゾーン i の従業者数、 σ_i 、 σ_{ij} : 期待最小コスト、 r_i : 地代、 W_i : 賃金率、 c_k^{ij} : ij 間の旅行時間、 n : 全世帯数、 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 : ロジットパラメータである。

(3) 企業行動

企業の仮定として、立地のみを考慮するとし、対象圏内の居住者のみが労働力になるとする。そして、企業の利潤最大化行動のもと、以下のように定式化する。

$$Y_i = N \frac{e^{\kappa \Pi_i}}{\sum_{i \in I} e^{\kappa \Pi_i}} = N \frac{e^{\kappa (pz_i - \beta W_i - \gamma R_i)}}{\sum_{i \in I} e^{\kappa (pz_i - \beta W_i - \gamma R_i)}} \quad (4)$$

ここで、 Y_i : ゾーン i の企業数、 N : 全企業数、ゾーン i の企業利潤 $\Pi_i = pz_i - \beta W_i - \gamma R_i$ 、 κ : ロジットパラメータである。ただし、 β : 1つの企業が必要な従業者数、 γ : 1つの企業が必要な土地面積、 z_i : ゾーン i 内企業の生産量である。

(4) 土地所有者の行動

土地所有者が居住地、業務地、その他の土地にそれぞれどのように配分するかを表わす式を以下のように定

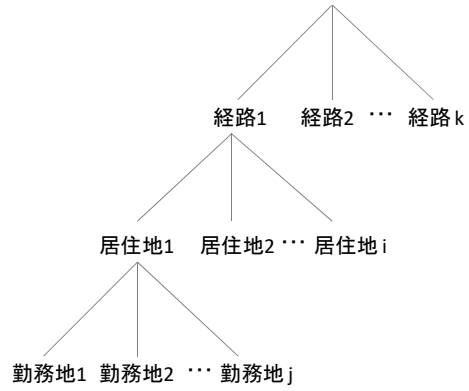


図-1 従業者の選択行動

式化する。

$$l_i = \frac{e^{\mu r_i}}{e^{\mu r_i} + e^{\mu R_i}} \quad (5)$$

$$L_i = \frac{e^{\mu R_i}}{e^{\mu r_i} + e^{\mu R_i}} \quad (6)$$

ここで、 D_i : 全面積、 l_i : ゾーン i の居住地面積、 L_i : ゾーン i の業務商業地面積である。ただし、面積の単位として、1つの世帯が必要な土地面積を1単位として考える。

(5) 等価最適化問題

以上で述べた行動を取り入れ、それぞれのネスティッドもしくは多項ロジットモデルが成立する交通立地統合均衡モデルは、以下のような等価最適化問題として定式化することが可能である。

$$\begin{aligned} \min S = & \sum_{a \in A} \int_0^{x_a} t_a(\omega) d\omega + \frac{1}{\theta_1} \sum_{k \in K} f_k^{ij} \ln \frac{f_k^{ij}}{q_{ij}} + \frac{1}{\theta_2} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} q_{ij} \ln \frac{q_{ij}}{y_i} \\ & + \frac{1}{\theta_3} \sum_{i \in I} y_i \ln \frac{y_i}{n} - p \sum_{i \in I} Y_i z_i + \frac{1}{\kappa} \sum_{i \in I} Y_i \ln \frac{Y_i}{N} \\ & + \frac{1}{\mu} \sum_{i \in I} \left(l_i \ln \frac{l_i}{D_i} + L_i \ln \frac{L_i}{D_i} + m_i \ln \frac{m_i}{D_i} \right) - \rho_i m_i \end{aligned} \quad (8)$$

st.

$$q_{ij} = \sum_{k \in K} f_k^{ij} \quad \forall i, \forall j \quad (9)$$

$$y_i = \sum_{j \in J} q_{ij} \quad \forall i \quad (10)$$

$$n = \sum_{i \in I} y_i \quad (11)$$

$$N = \sum_{i \in I} Y_i \quad (12)$$

$$\beta Y_i = y_i \quad \forall i \quad (13)$$

$$D_i = l_i + L_i + m_i \quad \forall i \quad (14)$$

$$\sum_{i \in I} q_{ij} = l_i \quad \forall j \quad (15)$$

$$\mathcal{N}_i = L_i \quad \forall i \quad (16)$$

式(9)は経路交通量の和がOD交通量となる制約、式(10)は居住人口(居住ゾーンの従業者数)に関する制約、式(11)はゾーンの従業者の和についての制約である。式(12)は全企業数は一定という制約である。式(13)は各ゾーンの従業者数と企業が必要とする労働者数は一致するという労働均衡を意味する制約式である。式(14)は各ゾーンの土地利用は居住・企業・その他のいずれかになることを意味している。式(15)と(16)はそれぞれ居住地・企業用地の土地均衡を意味する制約である。

3. 金沢市への適用のためのパラメータ推定

(1) 適用対象地域とネットワーク

本研究が対象とする金沢市のゾーン区分は図-2の通りである。金沢市は国勢統計区としては30に分割されているが、LRT導入が金沢市に及ぼす交通体系や都市構造への影響を明瞭化するため、30の統計区のうち、山間部の統計区を除いた28個の統計区を、位置関係を基に、図-2のように、6ゾーンに整理した。以降では、整理した6ゾーンについて、ゾーン1,2を「市街地」、ゾーン3,4,5,6を「郊外」と呼称する。

また、計算の簡略化のため、モデル式において、従業者の土地利用に関して、居住地と勤務地以外の面積を考慮していない。そこで、モデルで扱う面積は、モデル式との整合性を確保するために、第三回金沢都市圏PT調査の発生・集中・分布交通量を用いて、金沢市の実面積ではなく、相対的に扱うこととする。具体的には、午前6時から午前10時まで、図-2の各ゾーンに存在するノードから各ゾーンに存在するノードの分布交通量の合計を、ゾーン間の従業者のOD交通量(以下、OD交通量(実データ))とみなす。また、午前6時から午前10時まで、図-2の各ゾーンに存在するノードから発生する交通量の合計を、そのゾーンに居住する従業者の人口(以下、居住人口(実データ))とみなす。さらに、午前6時から午前10時まで、図-2の各ゾーンに存在するノードに集中する交通量の合計を、そのゾーンに勤務する従業者の人口(以下、勤務人口(実データ))とみなす。なお、OD交通量(実データ)、居住人口(実データ)、勤務人口(実データ)は、同一のデータを用いているので、それぞれのデータ間の整合性が保たれる。

さらに、1従業者あたりの勤務地面積、居住地面積をそれぞれ1単位と基準化し、各ゾーンにおける居住人口

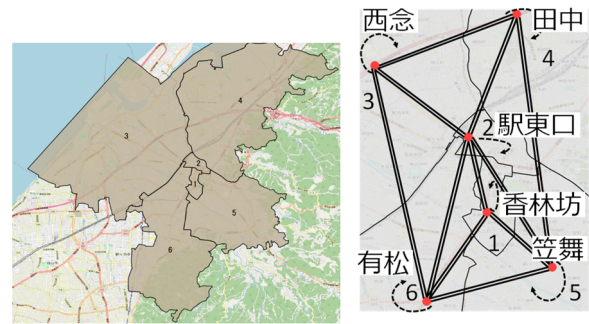


図-2 適用対象ゾーンとネットワーク

(実データ)と勤務人口(実データ)の和をゾーン面積とする。そして、1企業当たりの従業者数については、平成26年金沢市経済センサス基礎調査を参考に、金沢市の従業者数134,479を事業者数28,273で除した値9.5を採用する。さらに、1従業者が必要な勤務地面積を1単位と仮定したため、1企業当たり必要な業務地面積は9.5と表現できる。

交通ネットワークのノード数、リンク数が多すぎると計算負荷の関係上、計算に莫大な時間を要する。そこで、ノード及びリンクについては以下のような集約、簡略化を行う。まずノードに関しては、図-2を参考に、ゾーンの人口分布中心に近い、かつ、主要交差点に位置するノードを各ゾーンにつき1点、セントロイドとして設ける。次に、リンクに関しては、隣接するゾーンにおいて、セントロイド間を一つのリンクで結ぶ。ここで、計算に使用する金沢市の交通ネットワークを図-2の右図に示す。また、Google Mapsのルート探索機能を使用し、午前8時におけるセントロイド間の最短経路旅行時間をゾーン内外のリンク旅行時間とする。一方、ゾーン内々のリンク旅行時間に関しては、実際のデータを参考にして集計することが困難である。そこで、ゾーン内々のリンク旅行時間はゾーン内外の最小旅行時間と同一と仮定し、4.5(分)とする。

ゾーン内外についてはリンク混雑を回避する経路を考慮するために、各ODにて3つの経路、ゾーン内々については各ODにつき1つの経路を与える。このとき、ゾーン内外のODに対する経路の決定方法として、ダイクストラ法を採用する。第一最短経路については、リンク旅行時間を基に、セントロイド間の経路旅行時間が最小となるようなリンク構成を決定した。また、第二最短経路(第三最短経路)については、第一最短経路(第一最短経路及び第二最短経路)とリンクが重複する場合を認め、第一最短経路を除いた経路(第一最短経路、第二最短経路を除いた経路)においてダイクストラ法を適用して決定した。

(2) パラメータ推定

上述のモデルを適用する地域やネットワークに合わせてパラメータを推計する必要がある。本研究では、最小二乗法を用いることとし、以下の式によってパラメータ推定を行う。

$$\min. 18 \sum_{i \in I} \left(\frac{q_{ij}}{\sum_{j \in J} q_{ij}} - \frac{\tilde{q}_{ij}}{\sum_{j \in J} \tilde{q}_{ij}} \right)^2 + 3 \sum_{i \in I} \left(\frac{y_i}{\sum_{i \in I} y_i} - \frac{\tilde{y}_i}{\sum_{i \in I} \tilde{y}_i} \right)^2 + 3 \sum_{i \in I} \left(\frac{l_i}{\sum_{i \in I} l_i} - \frac{\tilde{l}_i}{\sum_{i \in I} \tilde{l}_i} \right)^2 + \sum_{i \in I} \left(\frac{y_i}{y_i + l_i} - \frac{\tilde{y}_i}{\tilde{y}_i + \tilde{l}_i} \right)^2 \quad (17)$$

$$s.t. \begin{cases} \mathbf{f} = \arg \min .S(\mathbf{f} | \mathbf{p}) \\ \mathbf{q} = \Delta \mathbf{f} \\ y_i = \sum_{j \in J} q_{ij} \quad \forall i \in I \\ l_i = \sum_{i \in I} q_{ij} \quad \forall i \in I \end{cases}$$

ここで、 \mathbf{f} は経路交通量ベクトル、 \mathbf{p} はパラメータベクトル($\theta_1, \theta_2, \theta_3, \kappa, \mu, z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6$)、 q_{ij} は OD 交通量(適用結果)、 \tilde{q}_{ij} は OD 交通量(真)または OD 交通量(実データ)、 y_i はゾーン i の勤務人口(適用結果)、 \tilde{y}_i はゾーン i の勤務人口(真)または勤務人口(実データ)、 l_i はゾーン i の居住人口(適用結果)、 \tilde{l}_i はゾーン i の居住人口(真)または居住人口(実データ)を表す。

式(17)の目的関数における第 1 項から第 3 項については、OD 交通量、勤務人口、居住人口の適用結果と真値または実データとの差の二乗和を最小化する。また、第 4 項については、ゾーン内人口に占める勤務人口割合の適用結果と真値または実データの差の二乗和を最小化する。そして、OD 交通量、ゾーンの勤務人口、居住人口、及びゾーン内人口に占める勤務人口の割合におけるそれぞれのデータのばらつきを補正するために、それぞれの残差二乗和に対して 18, 3, 3, 1 の係数を乗じている。

パラメータ推定における非線形計画法ソルバーとしては、MATLAB で展開されている、1 変数関数の最小値を求める fminbnd を使用する。式(17)の最適化問題の求解のために必要な外生パラメータは、総人口 n 、ゾーンの面積 D_i 、リンク自由走行時間 $T_{a,0}$ 、1 企業が必要な従業者数 λ 、1 企業が必要な土地面積 γ 、合成財の価格 p 、BPR 関数のパラメータ α, β 、リンク交通容量 C_a 、ロジットパラメータ θ, μ, κ 、企業の生産力 \mathbf{z} である。このうち推定するパラメータが多すぎると、金沢市の実際の交通体系や都市構造とモデルで再現される交通体系や都市構造との間で整合性が図れない。そのため、外生的に与えるのが適切なパラメータと内生的に推定して求めるべきパラメータの 2 種類を設定する。PT (パーソントリップ) 調査や金沢市経済センサス基礎調査から集計が困難

表-1 算出されたパラメータ

パラメータ	パラメータ初期値	推定後パラメータ
θ_1	0.900	0.112
θ_2	0.600	0.048
θ_3	0.300	0.019
κ	0.500	0.014
μ	0.500	0.676
Z_1 (固定)	0.000	0.000
Z_2	0.000	-392.063
Z_3	0.000	468.509
Z_4	0.000	-307.545
Z_5	0.000	-348.852
Z_6	0.000	150.316

で、かつ金沢市の交通体系や都市構造の表現するために重要なパラメータとして、ロジットパラメータである $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \kappa, \mu$ のほか、ゾーンの生産力 z_i (i はゾーン番号)をパラメータ推定の対象とする。それ以外のパラメータについては外生的に与えて、式(17)の最適化問題を求解する。ここで、生産力については、ゾーン 1 の生産力 z_1 を 0 に固定した上で、 z_2, z_3, z_4, z_5, z_6 を相対値として推定する。

推定されたパラメータ結果は表-1 の通りである。従業者の経路選択、居住地選択、勤務地選択に関するロジットパラメータの値は、 $\theta_1 = 0.112, \theta_2 = 0.048, \theta_3 = 0.019$ であった。それぞれの関係は、 $\theta_1 > \theta_2 > \theta_3$ となっており、式(8)で示した目的関数が凸関数である条件、及びネステッド構造が成立するために必要な条件を満たす。また、土地所有者の土地配分に関するロジットパラメータ μ の値が 0.676 を取り、 $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \kappa$ のパラメータと比較して大きいことが分かる。このことより、土地収入の大小が土地所有者の土地配分に与える影響が、従業者の勤務地・居住地・経路選択、及び企業の立地選択と比較して大きいことが示唆される。一方で、ゾーンの生産力 \mathbf{z} については、ゾーン 3, 6 がいずれもゾーン 1 と比較して高い値を示した。これより、ゾーン 3, 6 に立地する企業利潤が高くなり、企業は優先的にゾーン 3, 6 に立地するといえる。

4. 金沢市への LRT 導入影響評価

ここでは、LRT 導入が金沢市の交通体系、及び都市構造に及ぼす影響について分析する。

LRT の導入に関しては、ゾーン 1-2 間に敷設する設定

とする（図-3 参照）。また、モデルの簡略化のため、自動車のガソリン料金や駐車料金などの自動車所有コストは LRT の運賃と同一であるとみなし、従業者は、リンク旅行時間のみを頼りして自動車か LRT のモード選択を行う。まず、交通手段が自動車のみの場合には、リンク旅行時間は、BPR 関数に従うと仮定しているため、リンク交通量の増加に伴って、リンク旅行時間は増加する。一方で、LRT を導入した場合、LRT 導入区間における自動車のリンク交通量は、車線数の減少割合に応じて減少する。LRT 導入の場合には、自動車リンクが 2 車線から 1 車線に減少するため、自動車のリンク交通量は LRT 導入前の 1/2 となる。一方、LRT は専用軌道を走行するため LRT 利用者数の影響を受けず、LRT のリンク旅行時間は定数となる。LRT リンク旅行時間については、LRT 導入区間の運行距離が 2.0km であるため、富山軌道線の富山駅と上本町間(運行距離:2.0km)の LRT の旅行時間を参考に 10(分)と設定した。また、自動車から LRT への乗り換えるパークアンドライドを考慮するため、LRT 導入前の経路に加え、パークアンドライド経路を新たに追加した。

まず、LRT 導入における直接効果について、LRT 利用者数、LRT 導入前後の自動車リンク交通量の変化、LRT 導入前後の自動車リンク旅行時間の変化、LRT 導入前後の OD 交通量、期待最小コストの変化を考える。LRT 利用者数は 2,617.7 人と、全体の従業者数 134,479.0 人と比較して少ない。これは、市街地の面積が郊外と比較して非常に小さいため、LRT を市街地間に敷設しても LRT 利用者数は市街地の総面積以上(14,207 人以上)にはなり得ないことに起因する。そして、LRT のみの利用者の合計 86.8 人と比較して、パークアンドライド利用者数の合計は 2,531 人と多い。この要因として、LRT 導入前の OD 分布が挙げられる。LRT 導入前、市街地間の OD 交通量が 297.8 人、郊外を起点とし市街地を終点とする OD 交通量が 10,683.8 人であり、郊外から市街地への OD 交通量が市街地間の OD 交通量に対して多い。そのため、LRT 導入前の OD 分布に対応して、郊外から市街地への移動には、パークアンドライドを利用する従業者が多いことが要因である。

LRT 導入区間外においては、リンク交通容量が変化しないため、LRT 導入前後のリンク交通量の変化率とリンク混雑度の変化率には正の相関がある。また、BPR 関数から明確なように、LRT 導入区間外のリンクでは、リンク交通量の変化率とリンク旅行時間の変化率には正の相関がある。その一方で、LRT 導入区間内のリンク旅行時間の変化は、自動車リンク交通量と交通容量の双方の変化が影響する。そのため、リンク交通量の増減とリンク旅行時間の増減の関係は必ずしも対応しない。そこで以降では、LRT 導入区間外のリンクについては、自動車リ

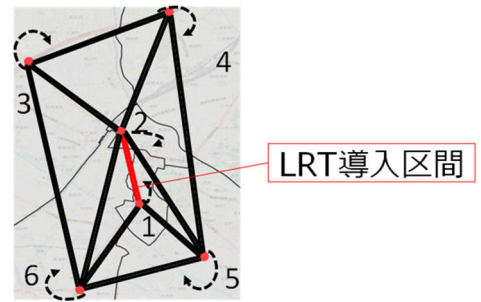


図-3 LRT 導入区間

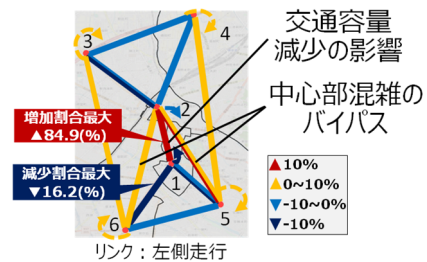


図-4 自動車旅行時間の変化 (LRT 導入前後)

ンク交通量の変化を、LRT 導入区間内のリンクについては、自動車リンク交通量、及び自動車リンク旅行時間の変化を考察する。

自動車リンク交通量は、ゾーン 1→2 のリンク、ゾーン 2→1 のリンクにおいてそれぞれ、37.7%、40.8%減少し、リンク旅行時間はそれぞれ、84.9%、57.9%増加した。リンク交通量の減少については、LRT を敷設したことにより、一定の従業者が市街地間、及び郊外→市街地の移動を自動車から LRT に移動手段を変更することが要因である。そして、リンク交通量の減少に対してリンク旅行時間が増加することから、交通容量の減少は、リンク交通量の減少よりも自動車リンク旅行時間に及ぼす影響が大きいといえる。

次に、郊外と市街地間のリンク交通量の変化について二点取り上げる。第一に、ゾーン 1-5、1-6、2-3、2-4 間のリンク交通量は 5.5%から 16.2%の範囲内で減少する。これは、市街地のリンク旅行時間の増加により、ゾーン 3-5、3-6、4-5、4-6 間の OD 移動に関して、市街地間のリンクを回避する従業者が増加することを要因として挙げる。第二に、ゾーン 2-5、2-6 間のリンク交通量は 4.2%から 10.9%の範囲内で増加する。これは、ゾーン 2-5、2-6 間のリンクが、市街地間のリンク混雑を回避するリンクとして機能するためである。

最後に、郊外間のリンク交通量の変化について二点取り上げる。第一に、ゾーン 3-6 間、4-5 間のリンク交通量は、0.9%から 3.0%の範囲内で増加する。これは、ゾーン 2-5、2-6 間のリンク同様、市街地間のリンク混雑を回避するリンクとして機能するためである。第二に、ゾーン 3-4、5-6 間のリンク交通量が減少する。これは、

「LRT 導入前後の OD 交通量，期待最小コストの変化」で述べるようにゾーン 1,2 を終点とする OD 交通量が増加し，郊外間の移動量が減少するためであると推察する。このように LRT 導入は，LRT 導入区間外のリンク交通量に対しても大きな影響を及ぼす。

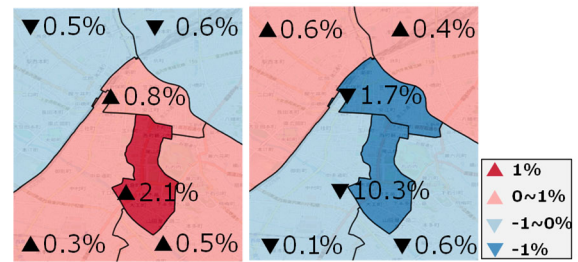
LRT 導入前後の OD 交通量，期待最小コストの変化について，期待最小コストの変化率と OD 交通量の変化率には，負の相関が高いことがわかる。これは，移動経路数の増加や経路旅行時間の低下に伴って，通勤が容易化され，OD 交通量が増加することを示している。

市街地間の OD 交通量はゾーン 1→2，ゾーン 2→1 において，それぞれ 2.1%，4.6%増加する。この要因について，ゾーン 1-2 間の自動車リンク旅行時間と LRT 旅行時間の関係から，次のように説明する。ゾーン 1-2 間における自動車リンク旅行時間は 18.5 分，15.8 分であり，LRT 導入前の旅行時間より増加する。一方で，ゾーン 1-2 間の LRT の旅行時間は 10.0 分であるため，旅行時間に関して LRT が自動車よりも優位である。そのため，ゾーン 1-2 間の自動車 OD 交通量の減少量よりも LRT の利用者数の方が大きくなった。したがって，市街地間の期待最小コストが減少し，OD 交通量が増加した。以上を踏まえると，市街地間の OD 交通に関して，LRT 導入の速達性の効果は自動車リンクの交通容量減少による渋滞効果よりも大きいといえる。

次に市街地-郊外，及び郊外間の OD 交通量は，ゾーン 1→3，1→4，2→5，2→6，3→5，3→6，4→5，4→6，5→3，5→4，6→3，6→4 の OD において減少する。これら全ての OD については，各経路を構成するリンクについて，市街地間の自動車リンクを使用している。そのため，市街地間のリンク旅行時間が増加に伴い，各 OD の期待最小コストが増加し，OD 交通量が減少する。

LRT 導入により，市街地における勤務人口が増加する（図-5 参照）。これは，直接効果で述べたように，終点をゾーン 1,2 とする OD の期待最小コストの減少するためである。また，ゾーン 1 の勤務人口の増加割合が，ゾーン 2 の増加割合よりも高いことについて，生産力がより高いゾーン 1 に企業の集積が図られたことが要因であると推察する。

そして，市街地の勤務人口の増加に伴って，ゾーン 3,4 の勤務人口が減少する一方で，ゾーン 5,6 の勤務人口は増加する。以下では，ゾーン 5,6 の勤務人口が増加する要因について述べる。ゾーン 1-2 間の市街地間の自動車リンク旅行時間の増加によってゾーン 6→1→2 や 5→1→2 の経路旅行者数は減少する。そこで，先述したように，ゾーン 1-6 間，1-5 間のリンク旅行時間が減少し，ゾーン 6→1→5，及び 5→1→6 の経路旅行時間が小さくなる。そのため，ゾーン 5-6 間の期待最小コストが減少し，ゾーン 5,6 における勤務人口が増加する。以上から，



勤務人口変化 居住人口変化
図-5 勤務・居住人口の変化

LRT 導入により LRT 導入区間外においても土地利用が変化すると結論付けることができる。

5. おわりに

本研究では，公共交通ネットワークのサービスレベル向上のため，金沢市の都市計画・交通計画において検討されている LRT 事業を取り上げた。そして，LRT 導入が交通・立地に及ぼす影響について分析可能なモデルを，交通立地統合均衡モデルの枠組みで開発した。そして，開発モデルを金沢市ネットワークに適用することで，LRT 事業が及ぼす直接効果・間接効果を評価し，LRT 事業に対する施策評価のフレームワークを構築した。具体的には，まず，従業者，企業，土地所有者の 3 主体の選択行動を定式化し，実際の計算における利便性を考慮し，解が一意となるような最適化問題に置換した。そして，作成した計算プログラムが正常に動作するかについて，仮想ネットワークを用いて確認した。その上で，実際の金沢市の実規模ネットワークとの整合性を図るために，最小二乗法を用いたパラメータ推定を行い，LRT 事業が金沢市の交通体系，及び都市構造に及ぼす影響について分析した。

本研究の今後の課題について整理する。まず本研究では，計算コストを下げるために，金沢市を国勢統計区の区分けを参考にして 6 ゾーンに分割し，リンクについてはセントロイド間を結ぶことで簡略化した。しかし，簡略化によって，金沢市の実ネットワークにおける具体的な交通体系や都市構造の変化を求めることができず，その施策評価として利用することが出来ない。さらに，使用したネットワークについては，第 3 回パーソントリップ調査の結果を用いており，最新の金沢市の交通体系との整合性を確保するためには，第 4 回パーソントリップ調査の結果を用いてネットワークを再構築する必要があるだろう。そして本研究では，従業者のみの移動交通を考慮し，観光客や通学者による移動交通は考慮していない。しかし，金沢市は観光都市であることから，市内の観光客行動による交通体系への影響は無視できず，金沢

市の実ネットワークと整合性のとれたパラメータが推定できたかどうかは疑問が残る。さらに、計算の簡略化のために、従業者の土地利用に関して、居住地と勤務地のみしか考慮していない。そのため、土地利用としては、勤務地と居住地の利用転換のみしか表現できず、ゾーン単位での総人口や都市規模の変化を表現することができない。しかし、現実の土地利用では、農地や公共施設など、勤務地、住宅地以外の土地も存在し、LRT 導入によってそれらの土地が居住地や勤務地に転換されることも十分に考え得る。そこで、勤務地・居住地以外の土地についても表現できるモデルの構築が必要といえる。

最後にモデル面について、LRT のリンクを、自動車のリンク交通容量、自由走行時間などのリンクパラメータを変更することによって再現した。しかし、本来、LRT、自動車のモード選択については、従業者の経路選択行動

としてモデル式に組み込むべきである。また、現実には、バスを利用した従業者行動も考えられるため、自動車、LRT、バスの交通手段を含めたモデルの拡張が必要であるといえよう。

REFERENCES

- 1) Anas, A. : The combined equilibrium of travel networks and residential location markets, *Regional Science and Urban Economics*, Vol.15, pp.1-21, 1958
- 2) 赤松隆, 半田正樹: Nested LOGIT 型交通・住居立地等号モデルとその効率的解法, *土木系各学会・論文集*, Vol.13, pp.279-287, 1996

(Received March 6, 2022)

(Accepted March 6, 2022)

AN IMPACT ANALYSIS OF INTRODUCING LRT IN KANAZAWA CITY USING THE UNIFIED TRANSPORTATION AND LANDUSE EQUILIBRIUM MODEL

Shoichiro NAKAYAMA, Yuta ISOgai and Hiromichi YAMAGUCHI

In this study, we focus on the LRT (Light Rail Transit) as a new public transportation system. In order to make an impact analysis of introducing the LRT in Kanazawa City, we adopt a unified transportation and landuse equilibrium model. We estimate the parameters of the model and examine the impact of LRT project.