

1616 LOS 弾力性の差異に基づく都市間鉄道運賃設定に関する検討

学 [士] ○山口 裕通 (東北大)

正 [士] 奥村 誠 (東北大)

学 [士] Tirtom Huseyin (東北大)

A Study of Railway Fare Policy considering Heterogeneous LOS Elasticity

Hiromichi YAMAGUCHI, Tohoku Univ. 2-1-1, Katahira, Aoba-ku, Sendai City

Makoto OKUMURA, Tohoku Univ.

Huseyin TIRTOM, Tohoku Univ.

It is important for a local city to maintain vitality of economic activities even in the population shrinkage, access conditions to other cities should be kept or improved. Considering the fiscal budget constraints, subsidiary countermeasure should be concentrated on smaller number of target links. This paper suggests a selection of target OD pairs based on the LOS elasticity, which are considered to be different for each OD pair. Generalized linear model (GLM) approach is utilized to develop the estimation method for the heterogeneous LOS elasticity.

Keywords : fare policy, intercity transportation, travel demand, elasticity

1. はじめに

今後人口減少が進んでいく我が国では、国内都市間交通の利用者も減少していくと予想される。利用者が減少する状況下では、地方部を中心に都市間交通サービスの維持が困難となるような事例が多発すると予想される。都市間交通路線の廃止や LOS (サービスレベル) の低下は、都市間の移動者数を減らす要因となり、地方都市の活力の低下や衰退につながる。地方都市はこのような事態の進展を防ぐため、公的資金の補助などにより路線の廃止や LOS の低下を回避することが求められる。実際に、運営の厳しい航空路線の維持を図っている事例 (e.g. 山形県による山形空港-羽田空港便の旅客への補助¹⁾) などがある。

しかし、地方都市の限られた財源を考えれば、当該都市と他の都市をつなぐ全ての交通機関に対して維持のための公的資金の投入を行うことは不可能である。この時、都市間公共交通には、旅客の多い路線の方が高頻度・低価格といった LOS の高いサービスを提供しやすいという規模の経済性が働くことに注意すれば、少数の路線に旅客を集中させることで、少ない補助金で効率的にサービスレベルを向上できる可能性がある。つまり、需要縮小状況下で他都市へのアクセス性の維持・向上を図るには、地方都市はターゲットとなる交通機関・区間を絞りこんで潜在需要の喚起策を進めていく必要がある。本研究では、ターゲットを絞る方法として、LOS 変化に対する需要の感度 (本稿では「LOS 弾力性」とする) の差異に着目し、その推計手法を提案する。さらに、推計した運賃弾力性に着目し、低価格戦略による需要喚起施策のターゲットを絞る方法について検討する。

2. 都市間交通における LOS 弾力性の差異

都市間交通における旅客のニーズは、OD 毎に大きく異なると推測される。何故なら、OD 毎に距離帯や旅行特性が大きく異なるためである。例えば東京-名古屋と

東京-鹿児島では大きく距離帯が異なるため、利用者の行動は異なるであろう。また本社-支社関係に沿った本社での会議に出席するための流動が多い仙台-東京と観光目的が多い道東 (釧路) 発着の流動とでは、同じサービス向上に対する利用者の反応が大きく異なると考えられる。そこで、本研究では OD 毎に LOS 弾力性が異なることに着目し、その差異について分析を行う。

従来の都市間交通需要に関する研究でも、LOS 弾力性の違いについて考慮されてきた。Yao and Morikawa (2005)²⁾や Kato et al.(2011)³⁾などによる都市間交通需要モデルでは、旅行目的毎に LOS 弾力性が異なるとして、別々にモデルを構築している。また、1990 年代イギリスにおける都市間交通の需要増加要因について分析した Wardman(2006)⁴⁾では、旅行目的だけでなく、ロンドンとの関係または距離帯毎に GDP 変化に対する需要の感度が異なることを報告している。しかし、これらの研究では分析者があらかじめ、弾力性が同一と考えたグループを設定し、その間の弾力性の違いを確認しているのみであり、その結果は分析者のグループ設定に依存してしまうという問題がある。さらに、サンプル数の制約から、グループの数を多数設定することは不可能であり、多数の要因による LOS 弾力性の差異を表現することができない。

よって、従来のグループ化による手法は、上述した LOS 弾力性の大小を知り、需要喚起のターゲットを見つけるという政策ニーズに応えることができない。そこで、本研究では OD 毎の LOS 弾力性の差異を複数の OD 指標で説明することにより、グループ分けを行わず単一のモデルで異なる LOS 弾力性を推定するモデルを構築する。

3. LOS 弾力性推計モデル

本モデルは、LOS 指標を含む重力モデルに LOS 弾力性の差異を説明する OD 指標を追加してパラメータを推定することによって、LOS 弾力性を推計する。2 章で述

べたように、都市間交通需要では OD 毎に LOS 弾力性が異なると考えられ、単純な (i.e. LOS 弾力性が一定と仮定した) 重力モデルでは、この影響は誤差として扱われている。そこで、重力モデルの各パラメータを説明する変数として複数の OD 指標を導入し、変数減少法によるモデル選択を行うことで、LOS 弾力性の差異を複数の OD 指標を用いて説明づけるモデルを構築する。

3.1 弾力性固定モデル (HOEM)

本節では基本となる、LOS 弾力性が一定と仮定した重力モデル (Homogeneous Elasticity Model, HOEM) について説明する。時点 t における、都市 i, j 間の期待 OD 交通量 λ_{ijt} は、基本的にそれぞれの都市の人口 P_{it}, P_{jt} と都市間距離 D_{ij} 、 N 個の LOS 指標 X_{ijm} によって説明できるとする：

$$\lambda_{ijt} = \exp(\alpha_0) \frac{(P_{it} P_{jt})^{\alpha_p}}{D_{ij}^{\alpha_d}} \prod_{m \in N} X_{ijm}^{\alpha_m} \quad (1)$$

α は観測データを用いて推定すべきパラメータであり、特に LOS 指標に関する α_m について、本稿では LOS 弾力性と呼んで集中的に考察することとする。

また、本モデルでは観測 OD 交通量 Y_{ijt} はカウントデータであることから、平均が λ_{ijt} (期待 OD 交通量) である負の二項分布に従って得られると仮定する。式(1)の右辺は対数をとるとパラメータ α の線形結合と書き換えることができるため、このモデルは分布を負の二項分布、リンク関数を対数関数とした一般化線形モデル (Generalized Linear Model, GLM) として扱うことができる。このように観測交通量が負の二項分布に従うとするモデルはすでに OD 交通量を推計するモデルとして用いられており、Perrakis et al. (2012)⁵⁾ ではベルギーのフランドル地方のデータに対してベイズ推定を行い、当てはまりの良い推計方法であると報告している。

3.2 弾力性異質モデルへの拡張

本研究では、OD 毎に弾力性の差異を複数の OD 指標で説明づけるように拡張を行う。具体的には、HOEM の各パラメータ α_k が M 種類の OD 指標 Z_{ijm} を説明変数とする線形モデルで表されると仮定する：

$$\alpha_k = \sum_{m \in M} \gamma_{km} Z_{ijm} + \gamma_0 \quad (2)$$

式(2)のように線形の関係を仮定することにより、式(2)を式(1)に代入して対数をとると、パラメータ γ に関する線形式とすることができ、GLM の枠組みのままでパラメータを推定することができる。

なお、本モデルでは LOS 弾力性以外のパラメータ (i.e. 人口、距離のパラメータと定数項) についても、式(2)のように仮定した上で、AIC (Akaike's Information Criterion) を基準とする変数減少法によるモデル選択を行う。何故なら、LOS 弾力性の差異以外に OD 指標によって異なる要素が存在する場合、その要素までも LOS 弾力性の差異として表現され、正しく LOS 弾力性の推定ができない可能性があるためである。

4. 純流動データによる推計結果

4.1 利用データ

観測 OD 交通量 Y_{ijt} として、1995 年と 2005 年の全国幹線旅客純流動調査⁶⁾による OD 表データを用いる。本研究では、日本全体をほぼ都道府県単位に 50 のゾーンに分

割し、秋季平日一日のゾーン間 OD 交通量を調査した結果のうち、経路距離(後述)が 300km を超える OD ペアを分析に用いた。300km 未満の OD ペアを対象外とした理由は、この距離帯の OD ペアにおける流動は大半が自家用車を用いたものであり、本研究の目的である公共交通機関のサービスレベルと OD 交通量の関係の分析には向かないと判断したためである。

重力モデルの説明変数には、国勢調査による人口と JTB 時刻表による経路距離、所要時間、運賃^{注1)}を用いた。このうち、LOS として所要時間と運賃を取り上げる。ただし、経路距離、所要時間、運賃の 3 者は非常に高い相関関係を持っており、そのまま分析に用いると多重共線性の問題が発生しかねない。そこで、本研究では所要時間と運賃を距離について基準化した、高速化指数 (所要時間の逆数を距離で基準化している) と距離当たり運賃を用いた。さらに、LOS 弾力性を説明する OD 指標 Z_{ijm} として、経路距離と、純流動調査の目的別・代表交通機関別 OD 表から導出した業務目的比率、航空利用率の 3 指標を用いる。

以上のデータを用いて、弾力性固定モデル (HOEM) と提案モデル (弾力性異質モデル) のモデル選択・パラメータ推定を行った。以降では、R の MASS パッケージに含まれる glm.nb() を用いた最尤推定法による推定結果を示す。

4.2 推計結果

モデルの推定結果を表-1 に示す。表-1 ではモデル選択後の係数を示しており、これらは全て尤度比検定により統計的に 1% 水準で有意であることが確認されている。また、弾力性固定モデル (HOEM) と提案モデルの推定結果を比較すると、OD 指標を導入することによって、AIC と適合度がともに向上していることが確認できる。

各係数の推定結果を見てみよう。弾力性固定モデルでは、人口と高速化指数の符号が正、経路距離と距離当たり費用に関する符号が負となっており、直感と合致する結果となった。また、提案モデルの LOS 弾力性に着目すると、距離当たり運賃のパラメータについては経路距離と業務率が、高速化指数のパラメータについては業務率が有意に効いていることから、LOS 弾力性が OD 指標毎に異なるモデルが得られたことが分かる。

図-1 に OD 毎の LOS 弾力性の推定結果をプロットしたものを示す。図-1 右上の矢印は、各 OD 指標が LOS 弾力性に与える影響を示したものである。この図から、(1) 短距離の OD ほど運賃弾力性が大きく、(2) 業務率が高い OD ほど高速化弾力性が大きく、運賃弾力性が小さいことが分かる。なお、(3) 航空利用率の LOS 弾力性に対する効果は統計的に有意ではなかった。

5. 都市間鉄道の運賃設定に関する検討

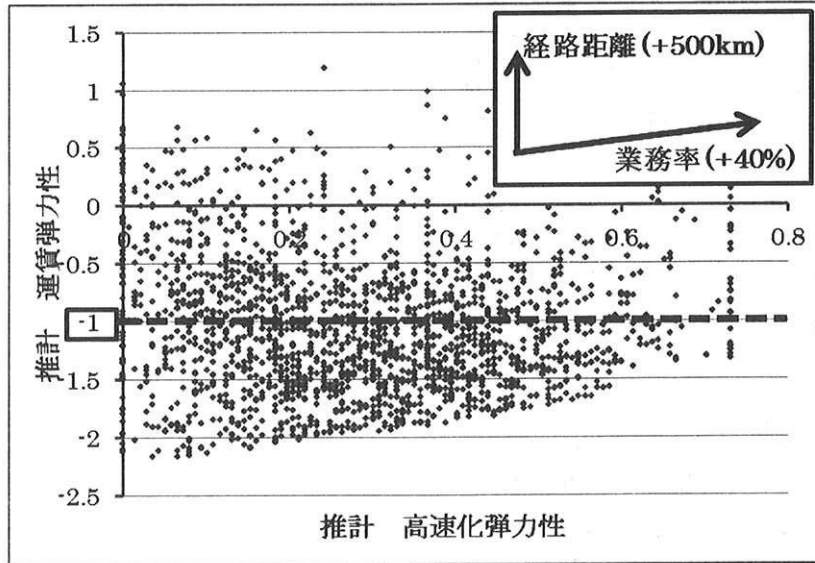
本章では、推計された運賃弾力性に着目して需要喚起施策を検討する。式(1)を踏まえると、都市間 i, j の運賃弾力性が e_{ij} (< 0) である時、運賃 $p_{ij,0}$ と OD 交通量の関係は：

$$x_{ij} = X_{ij,0} p_{ij,0}^{e_{ij}} \quad (3)$$

ここで、運賃を $p_{ij,1}$ に値下げしたとき ($p_{ij,1} < p_{ij,0}$) の消費者余剰の変化 ΔCS は：

表・1. 各係数の推定結果

	弾力性固定モデル (HOEM)		提案モデル	
	推定結果	(Pr(>Chi))	推定結果	(Pr(>Chi))
(定数項)				
(Intercept)	-8.955		2.478×10	
業務率	---		-2.342×10^{-1}	(<2.2e-16)
航空利用率	---		-6.846×10^{-2}	(3.897 × 10 ⁻⁶)
時点ダミー(‘95)	1.832×10^{-1}	(4.707 × 10 ⁻¹¹)	1.711×10^{-1}	(5.795 × 10 ⁻¹¹)
ゾーン人口				
(Intercept)	9.195×10^{-1}	(<2.2e-16)	4.174×10^{-1}	(<2.2e-16)
経路距離	---		2.017×10^{-4}	(<2.2e-16)
業務率	---		7.247×10^{-3}	(<2.2e-16)
航空利用率	---		2.514×10^{-3}	(<2.2e-16)
経路距離				
(Intercept)	-1.364	(<2.2e-16)	-3.938	(<2.2e-16)
経路距離	---		-1.163×10^{-3}	(1.271 × 10 ⁻¹¹)
距離当たり運賃				
(Intercept)	-1.159	(<2.2e-16)	-2.789	(<2.2e-16)
経路距離	---		1.851×10^{-3}	(<2.2e-16)
業務率	---		6.641×10^{-3}	(2.678 × 10 ⁻¹²)
高速化指数				
(Intercept)	3.734×10^{-1}	(0.00246)	---	
業務率	---		7.316×10^{-3}	(<2.2e-16)
(A)Null deviance	15977.4		19692	
(B)Residual deviance	4153.4		4096	
Degrees of freedom	3754		3746	
適合度 1·(B)/(A)	0.740		0.792	
AIC	43913		43038	



図・1.OD 毎の LOS 弾力性推定結果 (2005 年時点)

$$\Delta Cs = \frac{X_{ij,0}}{1-e_{ij}} (p_{ij,0}^{1-e_{ij}} - p_{ij,1}^{1-e_{ij}}) \quad (4)$$

となり、運賃値下げによって消費者余剰は必ず増加することが分かる。同様に運賃値下げを実施したときの事業者の運賃収入の変化は：

$$\begin{aligned} \Delta \text{Profit} &= -X_{ij,0} (p_{ij,0}^{1-e_{ij}} - p_{ij,1}^{1-e_{ij}}) \\ &= -(1-e_{ij}) \Delta Cs. \end{aligned} \quad (5)$$

式(4)と(5)から、 $e_{ij} < -1$ を満たすときには、 $\Delta Cs > 0$ かつ $\Delta \text{Profit} > 0$ であることが分かる。つまり、推計運賃弾力性 e_{ij} が“-1”より小さいODペアをターゲットとして、低価格運賃施策を行うことで、運賃収入を向上しつつ消費者余剰の向上も期待できる。また、図-1をみるとこの

ような条件を満たす OD ペアは多く存在することが確認できる。

実際に、このような OD ペアを対象として OD 毎に異なる運賃を設定することは十分可能であると考えられる。都市内交通と同じルールで決定している乗車券の価格を OD 毎に設定することは難しいが、特急券であれば OD 毎に格安の特急券を設定することは容易であり、潜在需要を喚起するような施策は実施可能であろう。また、本研究では純流動調査結果から純流動 OD 毎の弾力性を導出したが、実際には切符の過去・リアルタイムの販売情報などは鉄道事業者に蓄積されていると考えられ、これらの情報を併用することで、より正確かつ詳細な運賃弾力性を得ることができよう。このような情報から LOS 弾力性を推計した上で、施策を検討実施することによって需要減少下でも都市のアクセス性を維持・向上していくことが可能であると考ええる。

6. おわりに

本論文では、需要減少下で他都市とのアクセス性の維持・向上を図るためには、ターゲットを絞った需要喚起施策が必要であることを述べ、OD 毎の LOS 弾力性を推計するモデルを提案した。また、運賃弾力性に着目することにより、低価格戦略によって運賃収入を確保しつつ、消費者余剰を増加しうる OD ペアを特定できることを示した。

注

注1) 経路距離、所要時間、運賃は各ゾーンの航空・鉄道による代表駅間の値を用いることとし、航空の経路情報には代表駅と空港間のアクセス・イグレスの情報も含む。OD 毎に複数の経路が利用されている場合は、純流動調査のトリップデータから導出した経路流動量を重みとした平均値を用いている。

参考文献

- 1) 山形県：山形～東京便リピーター利用・グループ利用促進助成金のご案内，山形県 HP 空港・港湾施策，<http://www.pref.yamagata.jp/kurashi/kendo/kuko/> (2012.10.18 時点)
- 2) Enjian Yao and Takayuki Morikawa: A study of an integrated intercity travel demand model, *Transportation Research part A*, Vol. 39, pp.367-381, 2006
- 3) Hironori Kato, Kazusei Kato, Kotaro Endo, Yuichiro Kaneko, Tetsuo Shimizu: Inter-Regional Travel Demand Analysis Using Integrated Model For Practical Travel Demand Forecast, *proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol.8, 2011
- 4) Mark Wardman: Demand for rail travel and the effects of external factors, *Transportation Research part E*, Vol. 42, pp.129-148, 2006
- 5) Konstantinos Perrakis, Dimitris Kalis, Mario Cools, Davy Jassens, Koen Vanhoof: A Bayesian approach for modeling origin-destination matrices, *Transportation Research part A*, Vol. 46, pp.200-212, 2012
- 6) 国土交通省：全国幹線旅客純流動調査，1995 and 2005