

都市間交通需要のLOS弾力性に関する研究

A Study of LOS Elasticity of Intercity Travel Demand

山口 裕通*

Hiromichi YAMAGUCHI

*地域計画学研究室（指導教員：奥村 誠 教授）

As the intercity traffic flow is decreasing, some local governments should try to keep or improve their accessibility to other cities using public money. In order to efficiently concentrate their resource for improvement of accessibility, local governments should pick up markets where LOS elasticity is comparatively large. In this paper, the intercity demand estimation model with heterogeneous LOS values is proposed. This model is valuable for calculating LOS elasticity and considering the efficient way to keep accessibility.

Key Words : *intercity transportation, passenger demand, LOS elasticity, heterogeneity of LOS value*

1. はじめに

都市間交通では、人口減少による需要縮小とインフラの老朽化が進みつつある。将来、地方部を中心に都市間交通のLOS(Level of Service)を維持することが困難となる事例が多く発生すると予想される。LOS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りうる。よって、地方自治体は公的資金も活用しながらLOSの低下を回避しつつ、効率的に都市のアクセシビリティを維持・向上することが求められる。このとき、多くの場所で利用者の増加が見込めないことから、可能な限り集約・効率化を検討しターゲットを絞った上で施策を実施することが必要となる。この絞り込むターゲットを検討する際、リンクのLOS変化に対するゾーン発生集中交通量の感度（LOS弾力性）の情報が有用である。LOS弾力性の大小が分かれば、LOSの向上に対してより多くの潜在需要が期待できる（LOS弾力性の大きい）リンクや、効率化によるLOSの低下の影響が比較的小さい（LOS弾力性の小さい）リンクを知ることができ、地方自治体がサービスの維持・向上を図る路線を戦略的に絞ることが可能となる。

本研究では先に定義したLOS弾力性の推計を実施する。該当リンクのLOS変化に対するあるゾーンのLOS弾力性は、(1) そのゾーンを発着する都市間流動のうちで該当リンクを通過する流動が占める割合と、(2) 代替経路のLOSの影響を大きく受ける。さらに、(3) 旅客のLOSに対する評価（以降、「LOS評価」）の差異もLOS弾力性に影響をおよぼす。例えば、長距離の旅客と短距離の旅客ではLOS評価は異なると推測される。このとき、ある県

を発着する長距離の旅客が多く利用するリンクと、短距離の旅客が多く利用するリンクでは、同じLOS変化でも需要の感度は異なるであろう。

上述のLOS弾力性に影響する3要素のうち、(1)と(2)は、純流動調査のデータ等を用いることで容易に把握することができる。しかし、(3)はデータから推定する必要がある。そこで、本研究ではこのLOS評価の差異に着目した、都市間交通マクロ需要モデルを提案し、そのモデルを用いてLOS弾力性を算出する。

2. 既存研究におけるLOS評価の差異

従来の都市間交通需要分析に関する研究でも、LOS評価の差異の考慮が試みられてきた。Yao and Morikawa¹⁾などの都市間交通需要モデルでは、旅行目的毎にLOSに対する評価が異なるとして、別々にモデルを作成している。また、Wardmanは、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、旅行目的だけでなく、距離帯毎に評価が異なることを報告²⁾している。しかし、これらの研究では分析者があらかじめ、評価のパラメータが同一と考えたグループを設定し、その間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。また、多数のグループに分けると、各グループのサンプル数が少なくなり推計が困難になることから、多様な値をとりうるLOS評価のパラメータを細かく推定することはできない。そこで、本研究ではグループ分けを行わないモデルでLOS評価の差異を考慮し、LOS弾力性を算出する。

3. OD毎にLOS評価が異なる，都市間交通マクロ需要モデルの構成

(1) 均質評価モデル

まず，LOS 評価が全 OD で均質であると仮定した，OD 流動量モデルと経路選択モデルを組み合わせたモデルを考える。経路選択モデルには，最も一般的な補償型の離散選択モデルであるロジットモデルを用いる。これは，式(1)と式(2)のように定式化できる。

$$f_{k \in P_{ij}} = g_{ij} \frac{\exp(-\theta C_k)}{\sum_{k \in P_{ij}} \exp(-\theta C_k)} = g_{ij} h_k \quad (1)$$

$$C_k = F_k + \alpha_{4ij} \left\{ \sum_{l \in U_k} (T'_l) + \alpha_{5ij} \left(\frac{60 \times 24 / 2}{\min_{l \in U_k} H_l} \right) \right\} \quad (2)$$

- $f_{k \in P_{ij}}$: 経路 k の流動量
- g_{ij} : OD ij の流動量
- h_k : 経路 k の選択率
- U_k : 経路 k のリンク集合
- P_{ij} : OD ij の経路集合
- F_k : 経路 k の運賃
- T'_l : リンク l のリンク所要時間
- H_l : リンク l の日頻度
- $\alpha \theta$: パラメータ

式(2)に示すように，本研究では LOS として運賃，所要時間，頻度を用いる。式(2)の第3項は期待待ち時間を意味しており，パラメータ α_{5ij} は所要時間1単位当たりの期待待ち時間の価値を意味する。また，パラメータ α_{4ij} は時間価値を意味する。

本研究の OD 流動量モデルは LOS 向上による誘発需要を考慮できるモデルである必要がある。そこで，上述の経路選択モデルのログサム変数として導出される，期待 LOS 評価値 S_{ij} を用いた無制約型の重力モデルを用いる。このモデルは式(3)のように定式化される。

$$g_{ij} = \exp(\alpha_0) (\text{Pop}_i \text{Pop}_j)^{\alpha_{1ij}} \text{Dist}_{ij}^{\alpha_{2ij}} \left(\frac{S_{ij}}{\text{Dist}_{ij}} \right)^{\alpha_{3ij}} \quad (3)$$

$$S_{ij} = -\frac{1}{\theta} \ln \sum_{k \in P_{ij}} \exp(-\theta C_k) \quad (4)$$

- g_{ij} : OD ij の流動量
 - Dist_{ij} : OD ij の最短鉄道距離
 - Pop_i : 都市 i の人口
- パラメータ α_{3ij} が期待 LOS 評価値に対する OD 需要の感度 (以降，「GC感度」と記す) を示している。

(2) OD毎にLOS評価が異なるモデルへの拡張

OD毎に旅客のLOSに対する評価の差異を扱えるよう，OD毎にパラメータが異なるように拡張を行う。具体的には，均質評価モデルのパラメータ $\alpha_{nij|n \in [1-5]}$ を m 種類のOD指標 Z_{nmj} を説明変数とする式(5)のようなロジスティック関数で表現することとする。

$$\alpha_{nij|n \in [1-5]} = \frac{\beta'_n}{1 + \exp(-\beta_{n0} - \sum_m \beta_{nm} Z_{nmj})} + \beta''_n \quad (5)$$

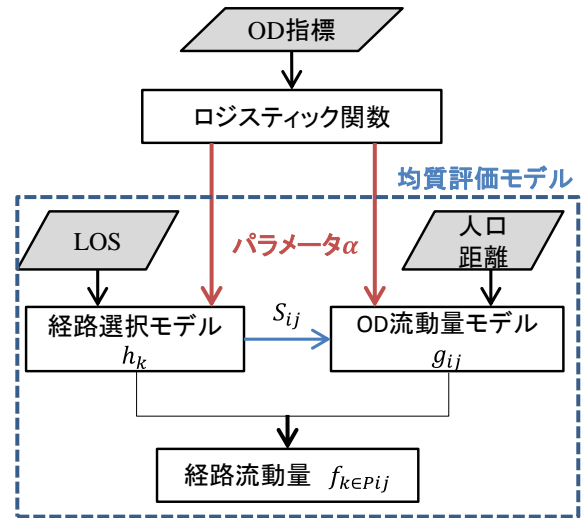


図-1. 都市間交通マクロ需要モデルの全体像

Z_{mij} : OD ij の指標 m β : 推定パラメータ
 以上で述べたモデルの全体像を図-1に示す。

4. 純流動調査データによるパラメータの推定

(1) 分析対象と説明変数

本研究では，経路距離が 300km を超える流動を対象とし，パラメータ推定に'95,'00,'05年に実施された全国幹線旅客流動調査によるデータを用いる。ここでは，鉄道・航空を代表交通機関とするデータの観測経路流動量に対して当てはまりの良いパラメータを推定する。

式(5)のOD指標 Z_{nmj} には，最短鉄道経路距離 Dist_{ij} と本所支所係数，移動方向を用いた。OD ij の本所支所係数は，都市 i に本所がある企業の都市 j にある支所の従業員数とその逆の従業員数の和を，都市 i と j の人口和で除算したもので，都市 ij 間の業務関係の強さを示す。また，移動方向は都市 ij 間の南北距離を直線距離で除算したものである。

(2) ゼロトリップを含むデータを用いたパラメータ推定

重力モデルのパラメータを推定する際，観測交通量とモデル交通量の対数値をとり，その二乗和を最小とするパラメータを推定するという，最小二乗法がよく用いられる。対数値をとるこの手法では観測トリップ数がゼロであるODは，計算に用いることができず，仮にきわめて小さな値を入れるか，あるいは除外することとなる。しかし，本研究で用いる経路距離が 300km を超える流動では，OD 毎に集計しても観測トリップ数が“ゼロ”というODが多く存在し，これらのODを除外すると情報の損失が大きくなる危険がある。さらに，LOS 評価に関するパラメータを推定するときに，「観測されないほどトリップ数が少ない」OD の情報を利用しないと，LOS 弾力性の算出結果がひずむ可能性が高い。そこで，本研究では観測経路交通量にポアソン分布を仮定した尤

度を用い、ゼロトリップ情報を反映した推定を実施する。

具体的には、観測経路流動量 $O_{k \in P_{ij}}$ はカウントデータであり、期待経路流動量を期待値とするポアソン分布に従って得られたデータであると考えられる。さらに、期待経路流動量は観測できない要因による誤差が想定されるために、ガンマ分布に従う誤差を仮定する。以上をまとめると、式(6)のように示される。

$$O_{k \in P_{ij}} \sim \text{Poisson} \left(\text{Gamma} \left(f_{k \in P_{ij}}, \sigma^2 \right) \right) \quad (6)$$

Poisson(A) : 平均Aのポアソン分布

Gamma(B,C) : 平均B, 分散Cのガンマ分布

このような確率分布を仮定した尤度によるパラメータ推定は、Perrakis et al.³⁾が線形のOD交通量モデルへの適用を行っており、ベルギーフランドル地方の観測OD交通量に対して当てはまりの良い推計手法であることを報告している。

5. 結果と考察

(1) パラメータの推定結果

表-1に均質評価モデルとOD毎にLOS評価が異なるモデルの適合度を示す。表-1から、均質モデルに比べて提案モデルの方が、適合度が高く観測経路流動量への当てはまりが良いモデルであることが確認できる。

GC感度と時間価値の推定結果を表-2に示す。推定パラメータの符号から、[1] 経路距離が大きいODではGC感度の絶対値と時間価値が小さい、[2] 本所支所係数が大きいODではGC感度の絶対値と時間価値が大きい、[3] 移動方向が南北方向に近いODでは、GC感度の絶対値と時間価値が小さいことが分かる。

さらに、OD毎のGC感度と時間価値の推定結果をプロットしたものを図-2に示す。図-2aから、均質評価モデルではすべてのODで一定であると仮定していたGC感度と時間価値が、提案モデルではOD毎に多様な値をとっていることが確認できる。

図-2bに東京都と山形県を発着するODを抽出した結果を示す。図-2から、東京発着ODは、全て時間価値が高いことが分かる。これは、東京は大企業の本社が集中しており、他県との本所支所係数が特に高いことに起因する。つまり、東京を発着する旅客は業務目的での移動が多く、このようなODでは運賃より所要時間を重視する傾向にあるといえる。対して、山形県を発着するODは、GC感度の絶対値が小さいODほど、時間価値が低いという関係にあることが分かる。すなわち、山形県を発着する

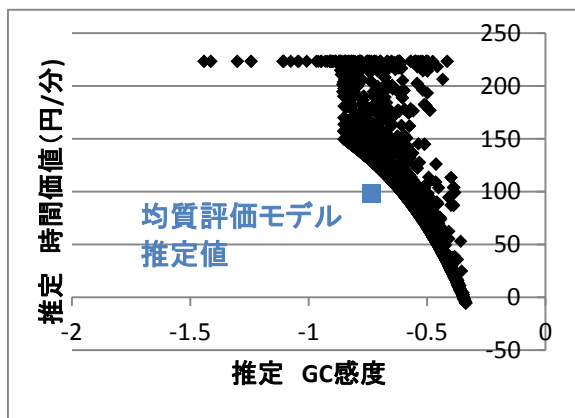
表-1. モデルの適合度

	LOS 評価異質 モデル	均質評価 モデル
[A] 残差逸脱度	37836	35771
[B] Null 逸脱度	7804	7822
適合度(1-[A]/[B])	0.794	0.781

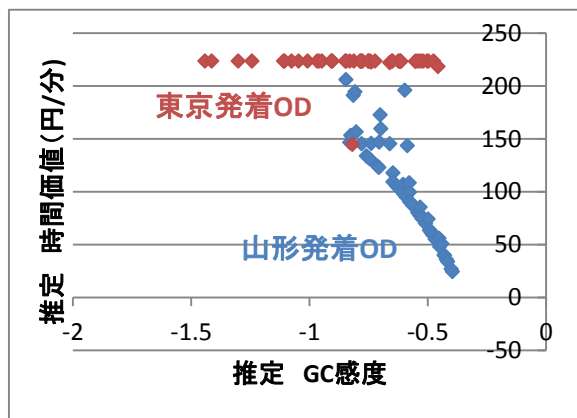
表-2. GC感度と時間価値のパラメータ推定結果

	GC感度 α_{3ij}	時間価値 α_{4ij}
均質評価モデル	-0.73 (-0.87, -0.66)	98.0 (83.2, 111.3)
提案モデル (式(5)のパラメータ推定値)		
上限値	-0.32	223.5
$\beta'_n + \beta''_n$	(-0.50, -0.28)	(191.6, 268.1)
下限値 β''_n	-1.62	-14.2
	(-1.77, -1.56)	(-39.0, 13.5)
定数項 β_{n0}	1.16 (1.03, 1.72)	3.61 (3.03, 4.65)
経路距離	0.0016 (0.0014, 0.0021)	-0.0016 (-0.0021, -0.0012)
本所支所係数	-0.0023 (-0.0037, 0.0000)	0.147 (0.119, 0.186)
移動方向	1.01 (0.69, 1.37)	-1.69 (-2.70, -0.98)

* 括弧内は95%信用区間



2a. 全 OD



2b. 東京都または山形県発着

図-2. GC感度と時間価値の推定結果

ODのなかで、経路距離が長く移動方向が東西に近いODでは、運賃を重視する傾向にあるといえる。

(2) LOS弾力性の算出結果

図-3に、提案モデルを用いて算出した山形ゾーン（庄内地方を除く山形県）のLOS弾力性を示す。鉄道リンクに関するLOS弾力性は、所要時間を1割増加させた時の山形ゾーンの総発生集中量の変化率を、LOSの変化率(1割)で除した値である。航空リンクに関するLOS弾力性は、航空の所要時間が大きく変わるとは考えにくいいため、期待待ち時間を1割増加させた時のLOS弾力性を示している。

図-3aから、山形空港に就航する航空路線のうち、新千歳・名古屋・伊丹への路線はLOS弾力性の絶対値が大きい値をとるが、羽田空港便は比較的低いことが分かる。これは、山形新幹線というLOSの高い代替経路が存在するためである。また、仙台空港と西日本を結ぶ多数の航空路線に関するLOS弾力性の絶対値が大きいことから、仙台空港のネットワークが山形ゾーンの発生集中量に与える影響が大きいことが分かる。このことから、仙台空港のネットワークのLOSに対する影響が大きい複数の自治体で協力し、仙台空港を北陸・中国・四国地方といった方面への拠点として集中的にLOS向上を図るといった施策が考えられる。図-3bから、鉄道リンクでは、特に旅客数が多い山形新幹線と、関東で山形新幹線に接続する多くの路線でLOS弾力性の絶対値が大きいことが分かる。

次に、LOS評価の差異と、LOS弾力性との関係を見る。表-3に、均質評価モデルと提案モデルから算出した、一部の航空路線に関する山形ゾーンのLOS弾力性を示す。均質評価モデルと提案モデルから算出したLOS弾力性の差を見ると、均質評価モデルでは、山形空港-羽田空港便を過大評価しており、その他の山形空港発着路線を過小評価していることが分かる。これは、山形空港-羽田空港便の旅客は乗り継ぎで遠方へ行く、GC感度・時間価値の低い旅客の構成比が高いことによる。この過大・過小推計の結果、均質評価モデルによる推計結果は、LOS弾力性の大きいリンクの順位も異なるものとなっている。

6. おわりに

本研究では、都市間交通の集約・効率化に有用な指標であるLOS弾力性を推計するために、OD毎にLOS評価が異なる都市間交通マクロ需要モデルを提案した。その上で、純流動調査データを用いてモデルのパラメータを推定し、OD毎のLOS評価の差異を明らかにした。さらに、提案したモデルを用いてLOS弾力性を算出すること

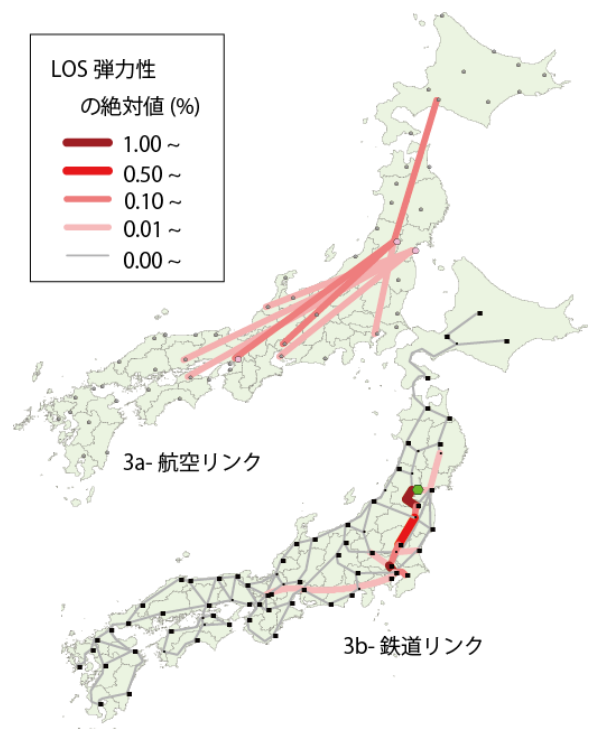


図-3. 山形ゾーンのLOS弾力性

表-3. 山形ゾーンのLOS弾力性の大きい路線 (2005年時点・航空路線)

路線	提案モデル (順位)	均質モデル (順位)
山形-新千歳	0.243 (1)	0.240 (1)
山形-名古屋	0.225 (2)	0.185 (2)
山形-伊丹	0.209 (3)	0.136 (3)
仙台-中部	0.028 (4)	0.016 (5)
山形-羽田	0.026 (5)	0.041 (4)

で、各ゾーンが集約のターゲットとして着目すべきリンクを示せることを確認した。また、山形エリアを事例とした分析から、LOS評価の差異を考慮しない分析では、特に山形空港-羽田空港便を過大評価しかねないことを示した。

参考文献

- 1) Enjian Yao, Takayuki Morikawa: A study of an integrated inter-city travel demand model, Transportation Research part A, Vol. 39, pp.367-381, 2006
- 2) Mark Wardman: Demand for rail travel and the effects of external factors, Transportation Research part E, Vol. 42, pp.129-148, 2006
- 3) 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

(2013年2月6日 提出)