

鉄道と航空の競合下における交通機関選択の地域特性

M2014SS011 安江直也

指導教員：佐々木美裕

1 はじめに

本研究では、航空と鉄道の競合下における交通選択問題について考える。航空機は、関西地区、関東地区などの大都市圏から地方都市を結ぶ旅客輸送として大きく貢献してきた。一方で、航空業界の競合相手として、地方都市と大都市を結ぶ整備新幹線などが発達している。平成27年には、北陸新幹線の東京—金沢間が開通した。平成28年には、北海道新幹線の新青森—新函館北斗間が開通予定である。これらの開通により、航空業界と鉄道業界の競合もますます激化することが予想される。そこで、公共交通機関の利用者がどのような要因で交通機関の選択しているのかを考えることが、今後の航空業界の利用者拡大に必要不可欠である。

一般的に航空機を利用する際は搭乗手続きなどで30分以上の時間を要する。しかし、鉄道を利用する際にははこのような手続きが不要なことから、移動時間だけで比較することは公平ではないといえる。鉄道の駅の立地は、比較的その地方の中心市街地に配置されているケースが多く、一方、空港は、郊外に配置されているケースが多い。そこで、新幹線駅や空港へのアクセスの良さが長距離の移動手段の選択に関して大きな影響を与えているのではないかと考えられる。

公共交通機関の利用配分比率を推定する問題は、既にいくつか研究がある。三浦 [2] は、リニア中央新幹線の需要予測を行った。需要点間の大圏距離と地域内にある空港及び、駅までのアクセス・イグレス距離の和を説明変数とするロジットモデルを導入した。また、齋木 [3] は、運賃や運航便数を説明変数とするモデルを考えた。このことから、料金や運航頻度も交通機関選択において重要な要因であるといえる。上嶋 [5] は、公共交通機関選択問題により、利用者の多い主要幹線モデルと利用者の少ないローカル路線モデルに分けて分析したが、それだけではなく多くの航空会社は、関東地区、関西地区などの大都市圏を出発地として全国各地に運航しているため、各地域の地域性や地理的な条件によって航空を利用する要因が異なるのではないかと考えられるが、現状としては、航空の地域特性を分析している研究は多くはない。そこで、本研究では、ロジットモデルを用いて、鉄道と航空の競合下において交通機関選択の地域特性を分析する。

2 モデルの説明

本研究では、鉄道と航空の競合を考慮した地域ごとの交通機関選択問題を考える。関東地区、関西地区を出発地または、目的地とするODペアを対象とし、それぞれの地区ごとで効用関数を設定する。空港のない都道府県は、その都道府県の県庁所在地から最寄りの空港を使うものとして、各都道府県から1つの空港を使うものとする。

空港へのアクセスへのしやすさは、利用者が公共交通機

関を選択するにあたって重要な条件であるといえる。よって、需要点間の新幹線でのアクセスが良いと航空機の利用は減少すると考えられる。そこで、2種類のダミー変数を導入する。1つ目は、新幹線による移動のしやすさを表すためにアクセス距離の代わりに導入したものである。このダミー変数は、都道府県間を新幹線のみで往来可能な場合を1として、それ以外は0とする。また、都道府県間の移動をする際に乗り換えがある場合でも新幹線のみで往来可能な場合に限り1とする。2つ目は、航空機による移動のしやすさを表すためにアクセス距離の代わりに導入したものである。このダミー変数は、都道府県間を航空機のみで往来可能な場合を1として、都道府県内に空港がない場合や、都道府県間に航空路線が無い場合は0とする。

利用配分には、ロジットモデルを利用する。本研究では、航空機の運賃、便数、鉄道による移動時間、空港間距離、航空機のダミー変数、新幹線のダミー変数を用いて、パラメータ推定を行う。また、鉄道と航空の利用者全体のうちの航空利用者の比率を航空比率とする。ODペアごとに鉄道か航空機を選択するためのロジットモデルを用いて航空比率を推定する。つまり、これらの情報が与えられた時に、利用者は鉄道と航空機のいずれかを決定することを意味している。パラメータの推定方法としては、尤度関数を設定して、尤度が最大になるようなパラメータを求める推定方法とロジスティック回帰によって推定する方法の2種類を利用する。実際の航空比率と推定した航空比率を比較して、推定結果の妥当性を測る。推定したロジットモデルを用いて、便数、運賃などの変化した時の利用者を予測する。

3 対象地域とデータ

鉄道と航空の利用者全体のうちの航空利用者の比率を航空比率とする。研究対象としては、関西地区、関東地区を出発地または、目的地とする。航空比率が0.3~0.7であり、年間のODペア間の航空利用者数20,000人以上のODペアを対象とする。関西地区では、17ODペア、関東地区では、27ODペアを対象とする。都道府県間の移動量については、全国幹線旅客純流動調査 [1] のデータを利用する。旅客流動とは、通勤通学以外の目的で都道府県を跨いだ移動量である。(図1)

また、図2のような、交通機関ごとの流動を総流動と呼び、幹線バス、航空、新幹線の移動をそれぞれ1トリップと考える。よって出発地Aから目的地Dまでの総流動は3トリップである。純流動では、出発地から目的地までの移動を1トリップとしている。よって、公共交通機関ごとの移動は考慮しない。

本研究では、都道府県間の移動を対象として、都道府県内での移動は対象外とする。ただし、北海道に関しては、道北、道東、道南、道央の4地域に区分する。また、航空機

や長距離鉄道を利用する移動を考えているため、首都圏内、中部圏内、近畿圏内などの大都市圏内の移動は都道府県内の移動と同様に、考慮しないものとする。

ここで、全日本航空 (ANA), 日本航空 (JAL), 日本トランスオーシャン航空 (JTA), ジェットスター, ピーチ, スターフライヤー, ソラシド, バニラエア, 春夏秋冬ジャパン, スカイマーク, エアアジア, 北海道エアシステム, フジドリームエアラインズ, オリエンタルエアブリッジ, IBEX エアラインズの便数データを用いる。

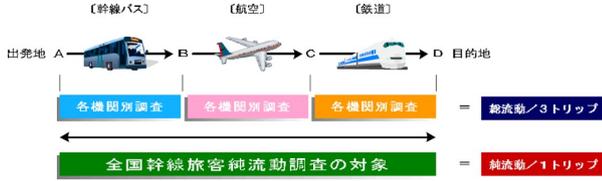


図1 幹線旅客流動：出典 [1]

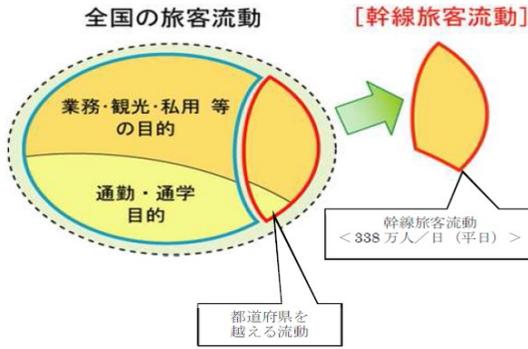


図2 純流動：出典 [1]

航空運賃には、さくらトラベル [5] により調査して、平成 27 年 8 月 26 日現在の通常運賃の (ANA, JAL) の最安値を使用する。1 日の運航便数と空港間距離は、平成 22 年度航空輸送統計年報で報告されている。また、鉄道の移動時間は、Google map を用いて、各都道府県の代表駅間による最短時間ルートで移動した場合の時間を利用する。

4 鉄道と航空の利用者配分率の決定

4.1 2 項ロジットモデル

本節では、鉄道と航空機の利用者配分率を求め方を説明する。利用者は、鉄道と航空のいずれかをロジットモデルに従って選択すると仮定する。以下に記号を定義する。

d_{ij} : 需要点 $\{i, j\}$ 間を移動した時の空港間距離。

t_{ij} : 鉄道を利用して需要点 $\{i, j\}$ 間を移動する時間。

f_{ij} : 需要点 $\{i, j\}$ 間を運航している航空機の便数。

C_{ij} : 需要点 $\{i, j\}$ 間を移動した時の航空運賃。

V_{ijk} : 交通機関 k で地域 i から地域 j まで訪れる旅行利用者の効用関数。

Q_{ijk} : 交通機関 k を利用して地域 i から地域 j に移動した人数。

θ_{kl} : 効用の説明変数のパラメータ。

β_{kl} : ロジスティック回帰の説明変数のパラメータ。

P_{ijk} : 地域 i から地域 j に移動した人数の中で交通機関 k を利用した比率。

L : 尤度関数

$$Z_{ij} = \begin{cases} 1: \text{需要点 } \{i, j\} \text{ 間を新幹線のみで移動可能} \\ 0: \text{上記以外} \end{cases}$$

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1: \text{需要点 } \{i, j\} \text{ 間を航空機のみで移動可能} \\ 0: \text{上記以外} \end{cases}$$

効用関数は以下の式で表す。

以下、関東地区の効用関数とする。

(鉄道)

$$V_{ij1} = \theta_{11} + \theta_{12}t_{ij} + \theta_{13}Z_{ij} + \theta_{14}Y_{ij} + \theta_{15}d_{ij} + \theta_{16}f_{ij} \quad (1)$$

(航空機)

$$V_{ij2} = \theta_{21} + \theta_{22}t_{ij} + \theta_{23}Z_{ij} + \theta_{24}Y_{ij} + \theta_{25}d_{ij} + \theta_{26}f_{ij} \quad (2)$$

以下、関西地区の効用関数とする。

(鉄道)

$$V_{ij1} = \theta_{11} + \theta_{12}C_{ij} + \theta_{13}Z_{ij} + \theta_{14}Y_{ij} + \theta_{15}d_{ij} + \theta_{16}f_{ij} \quad (3)$$

(航空機)

$$V_{ij2} = \theta_{21} + \theta_{22}C_{ij} + \theta_{23}Z_{ij} + \theta_{24}Y_{ij} + \theta_{25}d_{ij} + \theta_{26}f_{ij} \quad (4)$$

選択肢は鉄道と航空機の 2 つ ($k = 1, 2$) であるので、2 項ロジットモデルを使用する。関係式は、次式のようになる。

$$P_{ij1} = \frac{e^{V_{ij1}}}{e^{V_{ij1}} + e^{V_{ij2}}} = \frac{1}{1 + e^{-(V_{ij1} - V_{ij2})}} \quad (5)$$

$$P_{ij2} = 1 - P_{ij1} \quad (6)$$

4.2 2 項ロジットモデルとパラメータの推定

2 種類の手法で、2 項ロジットモデルのパラメータ推定を行う。1 つ目は、尤度関数を L として、 L が最大となるパラメータを最尤推定法によって推定する。

$$L = \prod_{ijk} P_{ijk}^{Q_{ijk}} \quad (7)$$

尤度関数 L の対数をとると以下のようになる。

$$\log L = \sum_{ijk} Q_{ijk} \log P_{ijk} \quad (8)$$

2 つ目は、航空比率を説明変数とするロジスティック回帰分析をして、効用パラメータの推定を行う。

以下、関東地区の効用関数。

$$V_{ij1} = \beta_{11} + \beta_{12}C_{ij} + \beta_{13}Z_{ij} + \beta_{14}Y_{ij} + \beta_{15}f_{ij} \quad (9)$$

以下、関西地区の効用関数。

$$V_{ij2} = \beta_{21} + \beta_{22}C_{ij} + \beta_{23}Z_{ij} + \beta_{24}Y_{ij} + \beta_{25}d_{ij} + \beta_{26}f_{ij} \quad (10)$$

パラメータを実際のデータから推定する。統計ソフト R を利用して、最尤推定法によりパラメータ推定を行った。図 3、図 4 は、航空の利用比率の推定値と観測値をプロットしたものである。表 1、表 3 は、ロジスティック回帰分析によるパラメータ推定の分析結果であり、表 2、表 4 は尤度関数によるパラメータ推定の分析結果である。

4.3 関東地区の推定結果

関東地区のパラメータ推定値は、便数、鉄道による移動距離は、特に説明力があった。つまり、新幹線などの他の公共交通機関へのアクセスの悪い場所への移動に航空機を使う傾向にあるといえる。さらに、関東地区では、運賃は説明変数に含まれなかった。これにより関東地区の航空機の利用者は運賃よりアクセスを重視することがいえる。

表 1 ロジスティック回帰分析によるパラメータ推定 (関東地区)

	パラメータ	t 値	p 値
定数パラメータ	-1.512959	-5.364	2.19e-05
鉄道移動時間	0.199910	3.533	0.001868
ダミー変数 (新幹線)	-0.337285	-3.675	0.001329
ダミー変数 (航空機)	0.365689	3.937	0.000704
便数	0.013197	3.088	0.005378

表 2 尤度関数によるパラメータ推定 (関東地区)

	定数パラメータ	鉄道移動時間
航空	-0.633745432	0.051171412
	ダミー変数 (新幹線)	ダミー変数 (航空)
航空	-0.159351103	0.14712011
	空港間距離	便数
航空	0.027751835	0.005521756

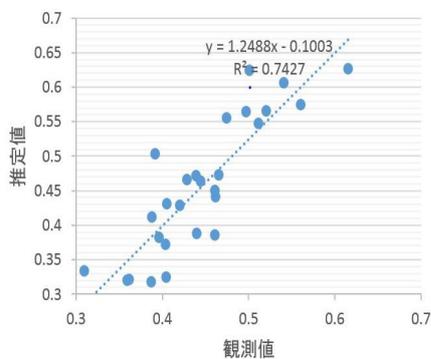


図 3 航空比率 (関東地区)

4.4 関西地区の推定結果

関西地区のモデルに関しては、関東地区のモデルと異なり、航空運賃が説明変数として選択された。これによって、関西地区の航空利用者は、運賃の安さも考慮して、交通機関を選択していることが分かる。また、空港間距離が説明力があることから、遠方への移動に航空機を選択していることが分かる。航空機の効用における新幹線のダミー変数のパラメータが正の値をとった。これは、実際の感覚とは異なる結果であるが、関西地区では、新幹線の通ってる OD ペアではより航空機の便数が多いことが要因であると考えられる。

表 3 ロジスティック回帰分析によるパラメータ推定 (関西地区)

	パラメータ	t 値	p 値
定数パラメータ	-6.605e-01	-1.938	0.07874
航空運賃	-7.020e-05	-3.688	0.00357
ダミー変数 (新幹線)	1.857e-01	1.742	0.10944
ダミー変数 (航空機)	1.578e-01	1.454	0.17398
空港間距離	3.752e-03	3.493	0.00503
便数	3.998e-02	3.668	0.00371

表 4 尤度関数によるパラメータ推定 (関西地区)

	定数パラメータ	航空運賃
航空	-0.21343317	-0.4144087
	ダミー変数 (新幹線)	ダミー変数 (航空)
航空	0.11526535	0.07435036
	空港間距離	便数
航空	0.2062041	0.01991386

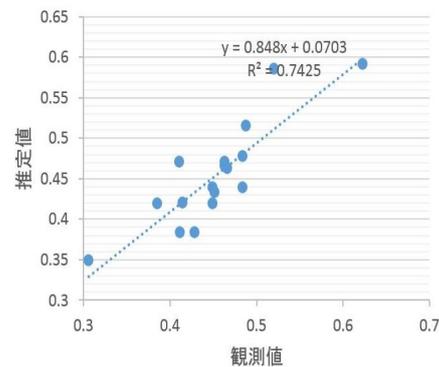


図 4 航空比率 (関西地区)

5 推定結果の妥当性検証

仮に推定値と観測値が完全に一致すると、推定値と観測値を単回帰分析をした時の傾きが 1、切片が 0 となる。そこで、推定値が妥当かを判断するために、切片が 0、傾き

が1を帰無仮説として t 検定を行う。傾きが1, 切片が0と相違があるとは言えないことを示して, 推定結果の妥当性を検証する。

$$Y = \hat{\beta}X + \hat{\alpha} \quad (11)$$

σ : 標準偏差

t : 実現値

$$\begin{cases} H_0: \beta = 1 & (\text{帰無仮説}) \\ H_1: \beta \neq 1 & (\text{対立仮説}) \end{cases}$$

自由度 $n-2$ の t 分布に従う。

$$T = \frac{|1 - \hat{\beta}|}{\hat{\sigma}} \sim t_{n-2} \quad (12)$$

p 値は以下の式によって解くことができる。

$$(\text{傾きの } p \text{ 値}) = 2P\{\mathbb{T} \geq t\} \quad (13)$$

p 値の推定結果は, 表 4.1 である。切片の p 値は, 推定値と観測値を単回帰分析した時に求められる切片の p 値と同等である。5%信頼区間において, 傾き, 切片ともに p 値は棄却域に入っていない。よって, 傾きが1, 切片が0と相違があるとは言えない。これらの結果により, 推定結果に相違があるとは言えない。

表 5 傾き, 切片の p 値

	関東モデル	関西モデル
傾きの p 値	0.103	0.365
切片の p 値	0.143	0.382

6 利用者の予測におけるモデルの活用

本モデルを用いて, リニア中央新幹線開通後に航空利用者がどれだけ減少するかを推定を試みた。現在, 東京-新大阪間を約2時間半ほどで移動できる。リニア中央新幹線開通後は1時間ほどで移動できるようになる予定である。よって, 実際にリニア中央新幹線が開通すれば, 鉄道の移動時間が1時間ほど短縮されることになる。関東モデルでは, 鉄道による移動時間が説明変数として選択されているため, 鉄道移動時間の実データから1時間半を引いたデータをモデルに当てはめる。それによって, OD間の鉄道による移動時間が短縮されたときの航空の利用者数の減少が予測できる。図5は, 大阪-千葉間のリニア中央新幹線開通前と開通後に予測される利用者数を比較したものである。リニア中央新幹線の開通に伴い, 航空機の利用客数が16%減少することがいえる。

また, 図6は, 本モデルを用いて, 航空運賃を割引した時の総売上の変化を示したものである。なお, 航空運賃は一定であると仮定する。総売上は, 推定した利用者数に運賃を掛け合わせたものである。料金を1割引にした時の方が割引をしない時よりも大阪-千葉間では2%, 大阪-大分間では14%も総売り上げが伸びた。

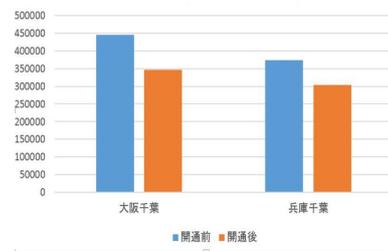


図 5 リニア開通後の利用者数

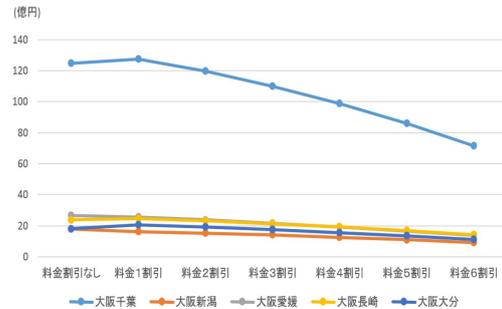


図 6 運賃の割引による総売り上げの変化

7 おわりに

本研究では, ロジットモデルを用いて, 鉄道と航空の交通機関選択問題を考えた。そこで, 関東地区ではOD間の鉄道における移動時間が航空比率に影響を及ぼすことがいえた。リニア中央新幹線が開通すると東京-大阪間のアクセスが格段に良くなる。それに伴って, 航空の利用者減少も予測される。また, 関西地区では, 航空運賃が航空比率に影響を及ぼすため関西発着の便では, 利用者数向上には運賃の値引きは有効な手段といえる。つまり, LCCなどの格安航空会社も参入しやすい土壌であるともいえる。本モデルを活用することによって, 運賃値引きをした時の総売り上げも予測することができる。よって航空業界の利益向上するような値段設定も考えられる。中部地区や九州地区のモデルやLCCなどの格安航空会社との競合も考慮することが今後の課題である。

参考文献

- [1] 国土交通省:全国幹線旅客純流動調査
<http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/soukou/>
- [2] 三浦英俊:『ロジットモデルを用いたリニア中央新幹線の需要予測』, オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学 54(7), 419-428, 2009.
- [3] 齊木和弥:『メガキャリアとの競合を考慮したLCCの航空路線編成モデルの研究』, 南山大学大学院 数理情報研究科 数理情報専攻 2012年度 修士論文, 2013.
- [4] さくらトラベル
<http://www.sakuratravel.jp/>
- [5] 上嶋悠紀代:『旅客交通機関選択モデル』, 南山大学大学院 数理情報研究科 数理情報専攻 2009年度 修士論文, 2010.