

旅客交通機関選択モデル

M2008MM029 上嶋悠紀代

指導教員：腰塚武志

1 はじめに

新幹線は大都市間を結び地域・社会に旅客輸送として貢献してきた。一方、近年では航空旅客事業が拡大し大都市間の移動には、鉄道ではなく航空を利用する割合が増えている。国土交通省の統計資料 [1] によると東京ー福岡間では平成 3 年には航空シェアが 79 %であったのに対し平成 17 年には 93 %へと拡大している。東京ー大阪間では同じ期間に航空シェアが 16 %から 35 %へと大きく拡大している。これには各航空会社と空港の大きな努力があったようだ。具体的には、空港での手続きが簡易化されてきたことにより搭乗時刻の 15 分前までにセキュリティチェックを通過すればよくなった。また大都市間では航空便の頻度も多く利便性が高い。

一方で鉄道事業もウェブでのサービスを開始し顧客の増加を狙っている。2010 年には東北新幹線が新青森駅まで延伸し、さらに 2025 年には超伝導リニア中央新幹線の建設計画がある。

本研究では鉄道と航空のシェアはどのような要因に影響されるのか、また今後シェアはどのように変遷していくのかを考察し、実際に 2009 年に開港した静岡空港の現在の路線網と計算結果の比較したり、新青森駅開業後の旅客シェアの変化とリニア中央新幹線による影響にも焦点をあてる。

2 交通機関選択モデル

都道府県間の移動には航空や鉄道の乗車時間だけではなく、乗換えにかかる時間や駅・空港までのアクセスにかかる時間も考えなければならない。さらに航空便の運行頻度などの特徴から、起点終点 (OD) を 2 つのグループに分けてそれぞれにモデルを考えることとした。また代表点を各都道府県に設定し、各都道府県間の流動量はこの代表点間を移動した人の数として考え、モデルを作成する。

2.1 研究対象範囲と代表点

新幹線と航空の競合が主題なので研究対象範囲を新幹線駅を保有する都道府県とした。また新幹線駅と空港までのアクセスを含めた経路考えるため各都道府県に代表点を設定し、その代表点間の移動を考えることにした。よって 24 都道府県が対象となり、人口は約 9000 万人で日本の全人口の 70 %を占めている。

2.2 航空に関する設定

各航空路線ごとの運行便数は航空輸送統計年報 [2] をもとにした。航空機の飛行時間は大圏距離より三浦 [3] で考察されている空港間距離と飛行時間の関係をもとに求めた。また航空を利用した場合、待ち時間を 15 分とする。なお空港が都道府県内に 2ヶ所以上ある場合は、主に国内線で利用されている空港 1 つを選んだ。

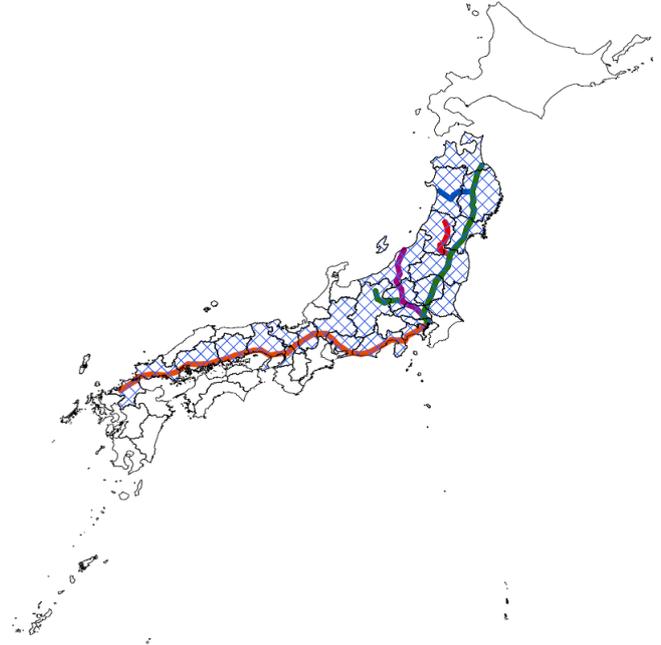


図 1 研究対象都道府県と新幹線 (斜線部分)

表 1 研究対象都道府県と空港

都道府県名	代表点	空港
青森県	青森県庁	青森空港
秋田県	秋田県庁	秋田空港
岩手県	岩手県庁	花巻空港
宮城県	宮城県庁	仙台空港
山形県	山形県庁	山形空港
福島県	福島県庁	福島空港
栃木県	栃木県庁	-
群馬県	群馬県庁	-
新潟県	新潟県庁	新潟空港
埼玉県	浦和駅	-
東京都	新宿駅	羽田空港
神奈川県	横浜駅	-
長野地区	長野市役所	松本空港
松本地区	松本駅	松本空港
静岡県	静岡県庁	静岡空港
愛知県	愛知県庁	中部国際空港
岐阜県	岐阜駅	-
滋賀県	大津駅	-
京都府	京都府庁	-
大阪府	大阪駅	大阪国際空港
兵庫県	神戸	神戸空港
岡山県	岡山県庁	岡山空港
広島県	広島県庁	広島空港
山口県	山口駅	山口空港
福岡県	福岡県庁	福岡空港

2.3 鉄道に関する設定

鉄道は JR 東海, JR 東日本, JR 西日本が運行している新幹線を扱う。新幹線の路線を図 1 に表す。図??は研

究対象範囲内の 24 都府県間について各県の新幹線駅間を移動した場合にかかる時間と距離の関係を表しているが、 x を新幹線移動距離 (km) , y を移動時間 (分) として回帰式を求めると、

$$y = 0.293x + 16.55$$

となる。また、

$$R^2 = 0.9343$$

であることから非常に相関が強いことが分かる。このことから平均速度 (km/分) は、

$$\frac{y}{x} \sim \frac{1}{0.293}$$

で求められ、時速にすると 204.57km であることが分かった。

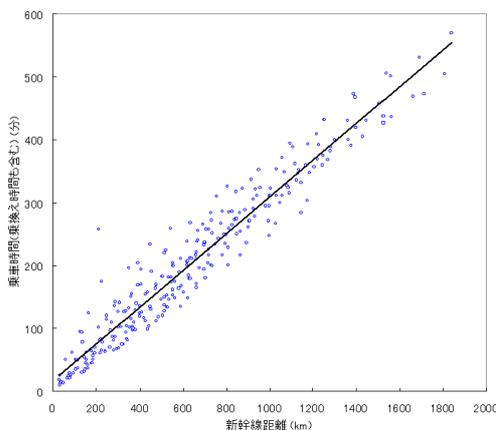


図 2 駅間の新幹線による距離と移動時間

そこで新幹線での移動時間を考える場合、新幹線は時速 200km で計算し、東海道新幹線の「こだま」のみ時速 130km で計算することにする。ただし乗換えがある場合は 5 分移動時間に追加する。また代表点が駅ではない場合代表点から最寄駅までのアクセスは時速 20km, 在来線は時速 50km, 松本と新宿間の特急は時速 85km と設定する。代表点間の移動は上記の速度をもとに、ダイクストラ法により最短時間経路を求めた。

2.4 都道府県間の流動量

平成 17 年の代表交通機関別流動表 [4] から、各都道府県間の航空と鉄道の移動者数を調べた。代表交通機関とは出発地から目的地までに利用した交通機関のうち、主として利用されたものを示す。この出発地から目的地への年間流動表を OD 間の旅客流動量と考えた。

2.5 OD のグループ分け

平成 17 年に運行されていた航空便運行頻度 (frequency)・運行距離 (distance)・航空割合 (percentage) の 3 要因それぞれの相関を図 3 に表す。赤で示されているのが航空路線の東京と大阪、東京と福岡である。

これをみると東京 (羽田空港) と大阪 (大阪国際空港) の航空路線、東京と福岡 (福岡空港) の航空路線と他の路

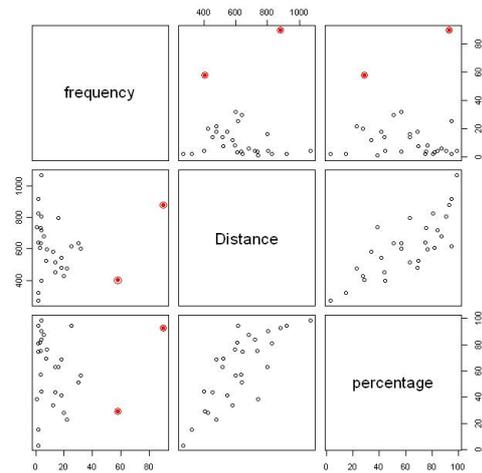


図 3 駅間の新幹線による距離と移動時間

線を比較すると運航頻度 (frequency) が大きく異なることがわかる。

また平成 17 年の羽田空港行きの旅客数をグラフで表すと図 4 のようになっている。目立って旅客数が多い空港として千歳空港、大阪国際空港、福岡空港、那覇空港があげられる。

研究対象範囲に入っている中では大阪と福岡からの旅客が非常に多く、東京と大阪、東京と福岡の航空路線と他の航空路線では大きく状況が異なることがわかった。そこでこの 2 航空路線を移動経路として含む OD ペアとその他の OD ペアに対して別のモデルを設定することとした。東京と大阪、東京と福岡の航空路線を経路として含むような OD のペアを主要幹線グループとし、具体的に表 2 にあげる。

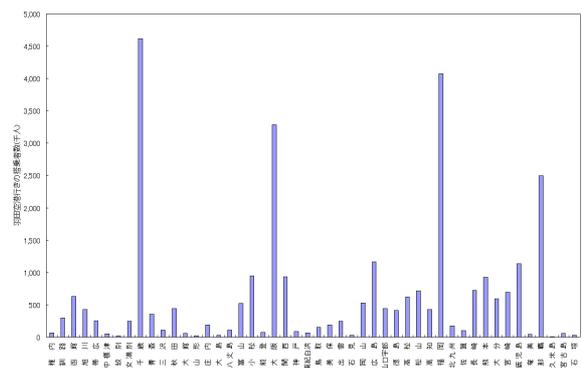


図 4 平成 17 年 羽田空港行き搭乗者数

2.6 ロジット関数モデルと効用関数のパラメータ決定

モデルではロジット関数により旅客の交通機関選択率を設定する。

記号の定義

A 24 都道府県の代表点集合, $i, j \in A$,

s 交通機関 (1:鉄道, 2:航空),

表 2 主要幹線グループ

滋賀県 ↔ 栃木県	滋賀県 ↔ 群馬県
滋賀県 ↔ 埼玉県	滋賀県 ↔ 東京都
滋賀県 ↔ 神奈川県	滋賀県 ↔ 栃木県
京都府 ↔ 群馬県	京都府 ↔ 埼玉県
京都府 ↔ 東京都	京都府 ↔ 神奈川県
大阪府 ↔ 栃木県	大阪府 ↔ 群馬県
大阪府 ↔ 埼玉県	大阪府 ↔ 東京都
大阪府 ↔ 神奈川県	福岡県 ↔ 栃木県
福岡県 ↔ 群馬県	福岡県 ↔ 埼玉県
福岡県 ↔ 東京都	福岡県 ↔ 神奈川県

T_{sij} i, j を始点・終点とし交通機関 s を利用したときの移動時間,

C_{sij} i, j を始点・終点とし交通機関 s を利用したとき幹線（新幹線または航空路）以外にかかったアクセス時間,

P_{ij} i, j を始点・終点とし移動した場合の交通機関による移動時間の比率,

F_{ij} i, j を始点・終点として航空路を含む移動を考えた場合の航空便の運航頻度,

V_{sij} i, j を始点・終点に対する交通機関 s の効用関数.

また移動時間の比率 P_{ij} は,

$$P_{ij} = \frac{T_{1ij}}{T_{2ij}},$$

のように決定し, 各交通機関 s の旅客交通機関選択率 p_{sij} は,

$$p_{sij} = \frac{\exp[V_{sij}]}{\exp[V_{1ij}] + \exp[V_{2ij}]},$$

となる.

各 OD 間の旅客流動量を鉄道利用者 F_{1ij} , 航空利用者 F_{2ij} , $\text{Flow} = F_{1ij} + F_{2ij}$ とすると,

$$F_{sij} \sim \text{Flow} \times p_{sij},$$

となるように効用関数 V_{sij} で説明力のある要因とそのパラメータをそれぞれのモデルに対しデータから決定する.

統計ソフト R [5] を利用して, 最小二乗法により説明力のある要因とパラメータを設定した. それぞれのモデルの効用関数を以下に示す.

まずは主要幹線グループの効用関数 V_{sij}^m は,

$$V_{1ij}^m(\text{鉄道}) = \alpha_{m1} + \alpha_{m2}t_{1ij} + \alpha_{m3}P_{ij}$$

$$V_{2ij}^m(\text{航空}) = \beta_{m1} + \beta_{m2}t_{2ij}$$

となる. ただし, $\alpha_{m1}, \alpha_{m2}, \alpha_{m3}$ と β_{m1}, β_{m2} はパラメータである. 主要路線グループではアクセス時間や航空の運行回数は説明力が弱かったが, それに対し総移動時間と交通機関の移動時間の比率が説明力があつた.

ローカル路線グループに対し説明力のあつた要因により効用関数 V_{sij}^l は以下ようになった.

$$V_{1ij}^l(\text{鉄道}) = \alpha_{l1} + \alpha_{l2}T_{1ij} + \alpha_{l3}C_{1ij} + \alpha_{l4}P_{ij}$$

$$V_{2ij}^l(\text{航空}) = \beta_{l1} + \beta_{l2}T_{2ij} + \beta_{l3}C_{2ij} + \beta_{l4}F_{ij}$$

ただし, $\alpha_{l1}, \alpha_{l2}, \alpha_{l3}, \alpha_{l4}$ と $\beta_{l1}, \beta_{l2}, \beta_{l3}, \beta_{l4}$ はパラメータである. 主要幹線モデルと同様に航空の割引料金を総移動時間の差は説明力が弱かった. それぞれのパラメータの推定値を主要幹線モデルは表 3, ローカル路線モデルは表 4 に示す.

表 3 主要幹線モデル パラメータ推定値

	定数	T_{sij}	P_{ij}
鉄道	α_{m1}	α_{m2}	α_{m3}
推定値	-8.543	-2.739	3.488
t 値	-3.968	-5.038	1.993
p 値	$3.8 \cdot 10^{-4}$	$1.8 \cdot 10^{-5}$	$5.5 \cdot 10^{-2}$
航空	β_{m1}	β_{m2}	
推定値	0(固定)	-5.218	
t 値	-	-7.728	
p 値	-	$8.2 \cdot 10^{-9}$	

表 4 ローカル路線モデル パラメータ推定値

	定数	T_{sij}	C_{sij}	P_{ij}	F_{ij}
鉄道	α_{l1}	α_{l2}	α_{l3}	α_{l4}	
推定値	-8.173	-4.647	1.535	7.626	
t 値	-3.688	-8.429	10.100	5.845	
p 値	$2.7 \cdot 10^{-4}$	$1.3 \cdot 10^{-15}$	$< 2.0 \cdot 10^{-16}$	$1.3 \cdot 10^{-8}$	
航空	β_{l1}	β_{l2}	β_{l3}		β_{l4}
推定値	0(固定)	-5.980	0.807		-0.009
t 値	-	-4.653	0.878		-2.044
p 値	-	$4.8 \cdot 10^{-6}$	$3.8 \cdot 10^{-1}$		$4.2 \cdot 10^{-2}$

統計ソフト R [5] を利用して, 最小二乗法により各パラメータ $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ と $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$, $\alpha_5, \alpha_6, \alpha_7$ と β_5, β_6 を推定した. ただし β_1 と β_5 を 0 と固定しパラメータ推定を行った. その結果をローカル路線モデルは表 4, 主要幹線モデルは表 3 に示す. 鉄道と航空のどちらも共通して T_{sij} の推定値が負の値が大きく, それぞれのシェアに大きく影響していることがわかる. またどちらのモデルも定数の α_1 と α_5 はほぼ同じ値を示している. 推定されたパラメータを使い計算される鉄道を選択した旅客数と実際の値をプロットした図をローカル路線モデルは図 6 に, 主要幹線モデルは図 5 に示す.

また推定結果に対する回帰式は,

$$\text{主要幹線モデル} : y = 0.94x + 8.9 \quad ,$$

$$\text{ローカル路線モデル} : y = 0.99x - 7.0,$$

であつた.

どちらのモデルも R^2 が 0.9 以上であつたことから, 現状の説明力があることが分かる. この推定されたパラメータとモデルを使い, 都道府県間の旅客流動量を鉄道の経路利用者と航空を含むの経路利用者に分ける. さらにその配分された人数をそれぞれの経路に数え上げていき, 鉄道や航空の各区間の利用者数を予測する.

3 リニア中央新幹線導入

八戸・青森間の速度を新幹線速度に変え, さらに名古屋・東京間にリニア中央新幹線（以下リニア）が導入された場合を考える. この区間は想定されている最速の移動時間である 40 分で移動するものとする.

- リニアとして東京と名古屋の間 186km を 40 分で走行するパスを追加し所要時間を計算.

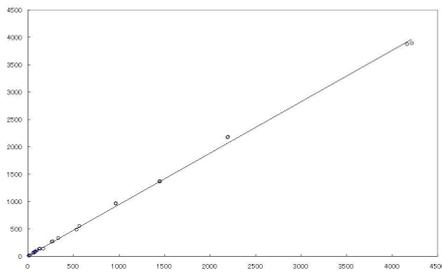


図 5 主要幹線モデル データの当てはまり

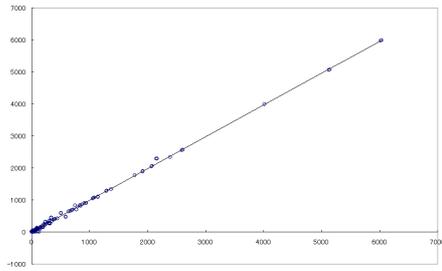


図 6 ローカル路線モデル データの当てはまり

- 航空路線は全空港間運行可能.
- 青森と八戸の間は在来線として設定していたものを新幹線に速度設定を変更.

またリニアの効用関数は,

$$\text{主要幹線} : V_{3ij}^m = \alpha_{m1} + \alpha_{m2}T_{3ij} + \alpha_{m3}P_{ij},$$

$$\text{ローカル路線} : V_{3ij}^l = \alpha_{l1} + \alpha_{l2}T_{3ij} + \alpha_{l3}C_{3ij} + \alpha_{l4}P_{ij},$$

のように定めた. 各要因のパラメータは鉄道と同じものを使用する.

各交通機関 s の旅客交通機関選択率 p_{sij} は,

$$p_{sij} = \frac{\exp[V_{sij}]}{\exp[V_{1ij}] + \exp[V_{2ij}] + \exp[V_{3ij}]}$$

となる.

リニア中央新幹線がどのような運行頻度であるのかはまだ決定されておらず, 乗換え時間と待ち時間を合わせて 10 分, 20 分, 30 分の 3 つの場合について計算した. 表 5 に東京と名古屋間の予想旅客数および人キロを示す.

表 5 東京・名古屋間の予測

乗換・待ち時間	予想旅客数 (万人)	億人キロ
乗換・待ち時間 10 分	リニア	5468.6
	新幹線	3801.2
乗換・待ち時間 20 分	リニア	5256.1
	新幹線	3955.9
乗換・待ち時間 30 分	リニア	5025.0
	新幹線	4127.6

鉄道・運輸機構 [6] ではリニアが最長の経路で建設された場合, 153 億人キロ, 最短経路で建設された場合 167 億

人キロと予想されているが本研究では, 143.7 億人キロから 156.4 億人キロとなった. 図 7 に羽田発着航空路線の平成 17 年度実績とリニア導入後の旅客数予測を示す. リニアの導入により平成 17 年度の実績を 100 %とした場合に比べ大阪国際空港と羽田空港の路線は 23.8 %, 福岡空港と羽田空港の路線は 67.5 %に落ち込む結果となった.

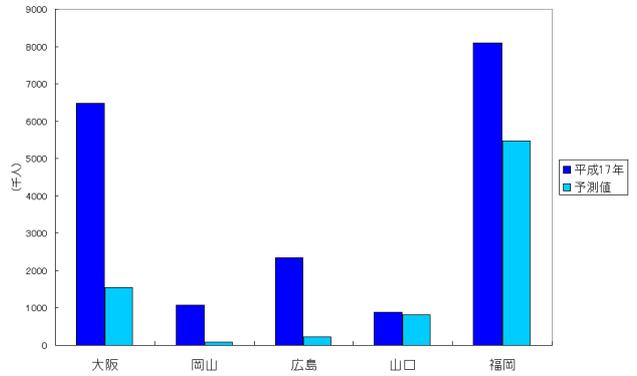


図 7 リニア導入後の羽田発着航空路線旅客数予測

青森と八戸の間の速度変化により平成 17 年度の実績に比べ青森空港と羽田空港の航空路線の利用客は 4.6 %の 3 万 2 千人まで落ち込む予測となった. また静岡空港は福岡空港間との間に年間 34.4 万人の旅客が予測される.

4 おわりに

OD ペアのグループ分けなどによって現状の説明力のあるモデルを構築することができた. さらにこのモデルを用いて, 新幹線の速度変化や新たな交通機関の導入による変化を予測できた.

本研究の結果を見ると新幹線の営業エリア拡大や新規路線が起これると航空は大きく旅客の獲得率を落とすこととなる. 特にリニア新幹線の導入により, 東京と大阪, 東京と福岡の間の航空路線に非常に大きな影響を与える事が予測できた.

参考文献

- [1] 国土交通省, 航空局, 国内航空旅客輸送の動向 (2006).
- [2] 国土交通省, 情報政策本部 情報安全・調査課 交通統計室, 航空輸送統計年報 (2005).
- [3] 三浦英俊: 都市間最短旅行時間に基づく国内新規空港の利用者数予測分析, オペレーションズ・リサーチ学会和文論文誌, Vol.49, pp.89-105 (2009).
- [4] 国土交通省, 全国幹線旅客純流動調査, 代表交通機関別流動表 (2005).
- [5] 金明哲: R によるデータサイエンス, 代表交通機関別流動表. 森北出版株式会社.
- [6] 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構, 東海旅客鉄道株式会社, 『中央新幹線の維持運営費, 設備更新費, 輸送需要について』 (2009).