

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No. 314

June 2006

国内航空市場における寡占競争を考慮した 需要分析モデルの構築

石倉 智樹・石井 正樹

A Domestic Air Demand Model Considering Oligopoly Competition

Tomoki ISHIKURA and Masaki ISHII

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan

国内航空市場における寡占競争を考慮した 需要分析モデルの構築

石倉智樹*・石井正樹**

要 旨

航空政策検討のために用いられている従来の航空需要予測モデルでは、航空輸送サービス供給者であるエアラインの行動がモデル化されておらず、運航頻度、運賃、路線設定、機材選択等については、与件の前提条件・シナリオとされている。したがって、政策効果の評価を行うにあたり、政策がエアラインの行動に及ぼす影響をモデルで表現することができない。運航規制の変化、空港使用料変化など、エアラインの供給行動に影響する政策による旅客需要への影響を評価するためには、エアラインの行動を明示的に考慮する手法が必要である。

そこで本研究は、多様な航空政策を評価可能な手法開発を目的とし、航空市場をより詳細に分析するための航空市場モデルの開発を行った。本モデルは、少数企業による寡占的状态という航空市場の特性を明示的に考慮している。また、近接空港間におけるエアラインの便数配分もモデル化されている。現況再現性検証の結果より、需要の量的な再現精度に課題を残すものの、OD間および路線間における需要・便数の相対的關係は概ね再現することができた。

キーワード：国内航空需要，需要予測，寡占

* 空港研究部主任研究官

** 空港計画研究室長

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 国土技術政策総合研究所

電話：046-844-5032 Fax：046-844-5080 E-mail：ishikura-t92y2@ysk.nilim.go.jp

A Domestic Air Demand Model Considering Oligopoly Competition

Tomoki ISHIKURA *
Masaki ISHII **

Synopsis

Existing “practical” air demand forecast models for policy planning does not handle airline’s behavior. Airline’s strategies such as frequency, fare, route selection were exogenous in the models. The models therefore cannot assess influences to airline’s behavior by policy alternatives. Some policies will affect both airline’s behavior and passenger’s (shipper’s) behavior. Air market model that explicitly deal with airline’s behavior is necessary to assess such policies.

We aim to develop the methodology that can assess various aviation policies and this paper constructs a domestic aviation market model. The model describes oligopoly situation of Japanese domestic aviation market. Frequency assignment between competitive air routes by airline is also considered in the model. Although quantitative accuracy is not completely desirable, the verification test shows that the model can evaluate comparative relationship of passenger demand and frequency between OD-pairs (and route-pairs).

Key Words: Domestic Air Passenger Demand, Demand Forecast, Oligopoly

* Senior Researcher, Airport Department

** Head of Airport Planning Division, Airport Department

目次

1. はじめに.....	1
2. 既存研究の整理.....	1
3. 市場状態の前提および全体的枠組み.....	1
4. ODゾーン間航空市場モデル.....	3
4.1 モデルの一般形.....	3
4.2 OD需要関数.....	4
4.3 エアラインの費用関数.....	4
4.4 ODゾーン間航空市場モデルの現況再現性.....	5
4.5 シナリオによる感度分析.....	5
5. 路線便数配分モデル.....	6
5.1 路線便数配分モデルの定式化.....	6
5.2 路線便数配分モデルの現況再現性.....	7
6. モデル構築結果のまとめ.....	8
7. おわりに.....	8
参考文献.....	9
付録 ODゾーン間航空市場モデルのゾーン区分方法.....	10

1. はじめに

従来、航空政策検討のために用いられている航空需要予測モデルでは、航空輸送サービス供給者であるエアラインの行動が考慮されていない。需要予測モデルにおいては、エアラインの行動、すなわち運航頻度、運賃、路線設定、機材選択等については、与件の前提条件・シナリオとされている。したがって、政策効果の評価を行うにあたり、政策がエアラインの行動に及ぼす影響をモデルで表現することができない。

航空市場の状況によって、エアラインの便数設定や運賃は変化し、これを通じて旅客の行動にも影響を及ぼす。GDP 変化など、所得効果によって需要曲線を変化させる状況変化が生じた場合には、市場均衡点の変化としてエアラインの戦略に影響が及ぶ。さらに、運航規制の変化、空港使用料変化など、エアラインの供給行動に影響する政策による旅客需要への影響を評価するためには、エアラインの行動を明示的に考慮する必要がある。そこで本研究は、航空市場をより詳細に分析するための航空市場モデルの開発を行う。

2. 既存研究の整理

エアラインの行動と旅客行動の相互影響をモデル化し、実ネットワークレベルへ適用した研究としては、Kanafani and Ghobrial(1985), Ghobrial and Kanafani(1995), Hansen and Kanafani(1989), Hansen(1995)などが代表的である。これらはいずれも、エアラインの利潤最大化と旅客の経路選択をそれぞれモデル化し、路線便数を変数として均衡状態を求める方法を採用している。これらのモデルは、運賃がエアラインの行動と独立に与えられる構造であるため、旅客流動のような物理的变化の分析は可能であるが、経済的影響の評価については課題が残る。

航空市場を経済均衡モデルとして表現する手法としては、寡占的市場モデル（例えば、Oum et al.(1995)）が主である。厳密な経済理論に基づくモデル化の場合、データ制約や計算負荷等のため現実的な大ネットワークへの適用が困難と考えられ、小規模の仮想ネットワークを対象としてネットワーク形成の理論的考察が行われている。

また、上記の既存モデルでは OD 間の需要が固定されている。我が国の国内航空市場は、鉄道等とのモード間競争が存在するため、エアラインの行動により OD 航空需要が変化することを表すための拡張が必要である。

我が国では、1990 年代半ばより、航空ネットワーク上におけるエアラインの行動を明示化したモデル開発が活発に行われている。大橋、安藤(1996)、大橋、安藤(1999)

は、旅客、エアライン、空港の三主体間の市場行動をモデル化し、数値解析によりネットワーク形成や航空政策分析を行った。しかし、これらについては、モデル構造が複雑であるため、現実市場を対象とした計算が困難という課題がある。

黒田ら(1999)は、国際航空市場を対象に、エアラインの費用最小化行動と旅客の一般化費用最小化行動の均衡問題として、実ネットワークサイズにおいて計算可能なモデルを提案した。高田ら(2001)は、エアライン間提携の影響分析のために、エアラインの異質性を明示的に考慮した需給均衡モデルを構築した。しかし、これらのモデルでは旅客の OD 需要を外生変数としており、需要量自体を分析するためには、OD 需要自体のモデル化が必要である。

竹林ら(2001)は、国際航空市場において、OD 需要についても重力モデルにより内生し、エアラインと旅客の均衡モデルを構築した。しかし、国際航空市場を対象としたモデルでは、我が国の国内航空市場のような鉄道等との交通モード間競争が評価できないこと、近接空港間での代替関係が表現されないことなどの課題がある。

これに対し、竹林(2005)は、国内航空市場における LCC（ローコストキャリア）参入可能性を評価するために、地域分割の単位を「ゾーン間 OD 市場」と「都市間 OD 市場」の二段階に階層化し、エアラインと旅客の市場行動に加えて、ゾーン内の空港間競争を分析する手法を提案した。この方法を用いることにより、外生インパクトに対する、航空需要への影響のみではなく、近接空港間の路線便数設定への影響も評価することが可能となる。本研究は、国内航空旅客市場における多様な分析を可能とするため、竹林(2005)と同様の市場設定の枠組みを基に、市場モデルの構築を行う。

3. 市場状態の前提および全体的枠組み

本研究のモデルは、「OD ゾーン間航空市場モデル」と「路線別便数配分モデル」の 2 つのサブモデルから構成される。モデルの全体枠組みを図-1 に示す。

OD ゾーン間航空市場モデルは、比較的大きなゾーニングの下で、エアライン間のクールノー型寡占競争を前提とした需給均衡モデルとして定式化される。クールノー型寡占とは、市場に参加する各企業が、他企業の産出量を所与として、自己の利潤を最大化するようにその産出量を決定するという市場メカニズムを表す。

OD ゾーン間航空市場モデルのアウトプットとして、OD ゾーン間の航空運賃と旅客需要量が得られ、ここで得られた需要が路線別便数配分モデルの入力値となる。

なお、他交通機関との競合については、ODゾーン間航空市場モデルで考慮されることとなる。

路線別便数配分モデルは、ODゾーン間航空市場モデルから得られた総需要を基に、各航空路線への便数および旅客数配分を推定する。ここでは、ODゾーン間航空市場モデルよりも細分化されたゾーニングを行い、航空サービスレベルである便数や空港アクセス利便性による旅客の経路選択行動への影響を詳細に評価することが可能となる。

以下、各サブモデルにおける前提条件と概要について述べる。

ODゾーン間航空市場モデルでは、市場がゾーン間ペア毎に分離可能、すなわちあるゾーン間ペアの市場状態（需要や価格など）が、他ゾーン間ペアの市場状態に干渉しないと仮定する。ゾーン区分の考え方は、空港の後背圏を考慮し幹線旅客純流動調査における旅客の機関選択実績を基に、後述のルールにより定義する。ここで定義されたゾーンを以下ではODゾーンと呼ぶ。

本研究では、ODゾーン作成の基礎データとして、2000年幹線旅客純流動調査データを用い、以下の考え方により全国207生活圏をODゾーンに分類した。まず、生活圏ごとに、利用者数が最大の空港を代表空港（全国48空港）として定義し、代表空港が同じ生活圏は同一ゾー

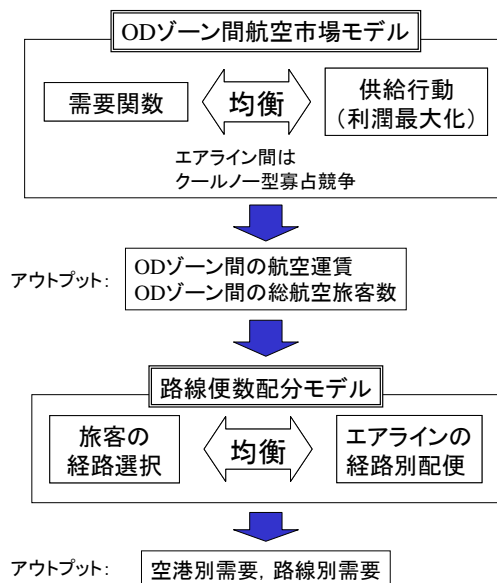


図-1 モデルの全体枠組み

ンとして統合する。これは、各空港の後背圏を一定のルールに基づいて仮定し、空港の後背圏が重なる場合には同一ゾーンとして扱うという考え方に基づく。ただし、この前提では、関西国際空港と大阪国際（伊丹）空港が別ゾーンに存在すると定義されるため、例外的にこれら

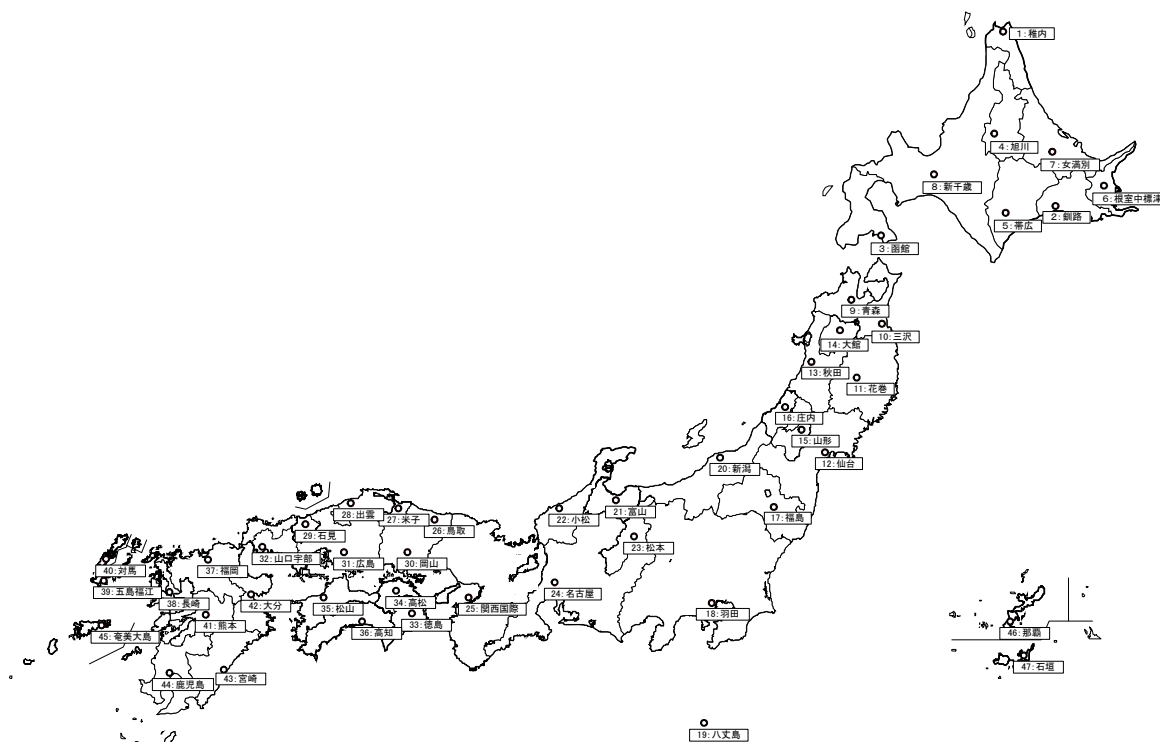


図-2 ODゾーン

のゾーンを統一することとした。これらのゾーンを別々に定義すると、下部の路線別便数配分モデルにおいてこれら2空港間の競合状況の分析ができなくなる。本研究では、政策効果分析の機能が減じられてしまうことを防ぐため、このような例外処理を行った。その結果、図-2のように全国207生活圏が47のODゾーンに分類された。このゾーン分割により、同一のODゾーンの中に複数の空港が存在する場合が生じることとなるが、各ゾーンとそこに含まれる空港については付録に示す。

我が国の航空市場では、同一路線で運航するエアライン数が少なく、完全競争的という前提は適切ではない。したがって、各ODゾーン間航空市場では、エアライン間がクールノー型寡占競争状況であると仮定する。

同一のODゾーン間では、利用空港が異なる場合でも、運航距離の差が小さいため、エアラインの運航費用に大きな差はない（近隣空港間で空港使用料に大きな差がある場合はこの限りではない）と考えられる。そこで、同一ODゾーン間では、いかなる空港ペア路線を運航する場合においても、費用構造に差はないと仮定する。

また、同様の理由により、同一ODゾーン間におけるいかなる空港ペア路線によっても運賃差が生じないと仮定する。実際の市場を完全に反映したモデル化は不可能なため、これらのように現実市場と異なるような厳しい前提条件を設けているが、この仮定により、以下の路線別便数配分問題の設定が容易となる。

あるODゾーン内に複数の空港が存在する場合、旅客による空港（経路）選択および、エアラインによる路線別配便が行われる。旅客の空港選択においては、発生集中地から空港までの交通アクセス条件や路線毎の航空サービスレベルが影響する。このため、ゾーンを細分化する必要が生じる。本研究では、空港選択・路線配便を考えるにあたり、生活圏をベースに日本全国を207地域に分割して考える。このゾーンを、以下では生活圏ゾーンと呼ぶ。

本研究では、各空港間の航空路線における配便数決定は、旅客の空港・経路選択行動と、エアラインの便数配分原理によって行われると考える。ODゾーン間の航空市場においては、総需要量と総供給座席数が先決されている。旅客行動については、生活圏ゾーンを集計単位とし、各生活圏ゾーンから空港までの交通アクセス条件と、航空サービスレベルである路線便数を考慮して、経路選択が行われると仮定する。各エアラインは、路線に投入される機材のロードファクターを最適化するという行動規範の下、旅客の経路選択行動を考慮して路線毎の配便数を決定すると仮定する。

以上が、モデルの全体的枠組みであるが、以下では各段階におけるモデルの詳細を述べる。

4. ODゾーン間航空市場モデル

4.1 モデルの一般形

本モデルにおける需要関数の一般形を以下のように定義する。

$$OD_{rs} = f_{rs}(p_{rs}^{air}, Acc_{rs}^{air}, \mathbf{M}_{rs}, \mathbf{Y}_r, \mathbf{Y}_s, \mathbf{Y}) \quad (1)$$

ここで、

OD_{rs} : ODゾーンrs間の航空需要

p_{rs}^{air} : ODゾーンrs間の航空運賃

Acc_{rs}^{air} : ODゾーンrs間の航空サービスに関するアクセシビリティ指標

\mathbf{M}_{rs} : ODゾーンrs間における航空以外の競合交通機関に関するサービスレベル (LOS) 変数列ベクトル

\mathbf{Y}_r : ODゾーンrの社会経済指標変数列ベクトル

\mathbf{Y}_s : ODゾーンsの社会経済指標変数列ベクトル

\mathbf{Y} : 日本の社会経済指標変数列ベクトルである。

各エアラインは、クールノー的寡占市場において、以下のように利潤最大化行動を行うと考える。

$$\max \pi_{rs}^m(q_{rs}^m) = p_{rs}^{air}(OD_{rs}) \cdot q_{rs}^m - C_{rs}^m(q_{rs}^m) \quad (2)$$

ここで、

q_{rs}^m : ODゾーンrs間におけるエアラインmの供給 (=需要)

$C_{rs}^m(q_{rs}^m)$: ODゾーンrs間におけるエアラインmの費用関数

である。費用関数については、供給量のみ関数ではなく、以下のように他の外生変数の関数と考える。

$$C_{rs}^m = C_{rs}^m(q_{rs}^m, tax_{rs}, \mathbf{x}_{rs}^m) \quad (3)$$

C_{rs}^m : ゾーンrs間のエアラインmの費用

q_{rs}^m : ゾーンrs間のエアラインmの輸送量

tax_{rs} : ODゾーンrs間の運航に関わる公租公課

\mathbf{x}_{rs}^m : ODゾーンrs間におけるエアライン m の特性変数列ベクトル

$p_{rs}(OD_{rs})$ は逆需要関数であり、式(1)を変形することにより得る。また、

$$OD_{rs} = \sum_m q_{rs}^m \quad (4)$$

である。

当該市場に M 社のエアラインが参入し、クールノー的競争を前提とすると、一階の条件は以下のように表される。

$$\frac{\partial p_{rs}^{air}}{\partial q_{rs}^m} \cdot q_{rs}^m + p_{rs}^{air} - \frac{\partial C_{rs}^m}{\partial q_{rs}^m} = 0 \quad \forall m \in M \quad (5)$$

式(5)は各エアラインの反応曲線を意味しており、全エアラインの供給量の関数となる。これら M 本の連立方程式を解くことにより、均衡需要（供給）および均衡価格が得られる。

4.2 OD 需要関数

需要関数の一般形は、式(1)のように表されるが、本節ではパラメトリックに需要関数を仮定し、実績データよりパラメータ推定を行う。本研究では、実務的にも実績が豊富であり推計結果が比較的安定的な、式(6)に示すグラビティモデル型の関数形により需要関数を特定化した。

需要関数の推定においては、航空輸送統計年報における空港間ODデータを用いてOD需要関数の推定を行った。説明変数として種々の社会経済指標および競合交通機関サービスレベル指標を用意し、パラメータ推定を行った結果、以下の関数式が採択された。なお、OD 需要関数の推定においては、短距離路線では精度の高い推定結果が得られず、競争的な市場が成立していない可能性が高いため、路線距離 300km 以上のデータのみを対象としている。

$$\begin{aligned} \ln OD_{rs} = & \beta_0 + \beta_1 \ln(\text{time}_{rs}^{air}) + \beta_2 \ln(p_{rs}^{air}) \\ & + \beta_3 \ln(\text{time}_{rs}^{rail}) + \beta_4 \ln(Y_r) \\ & + \beta_5 \ln(Y_s) \end{aligned} \quad (6)$$

time_{rs}^{air} : ゾーン rs 間の航空ラインホール時間

p_{rs}^{air} : ゾーン rs 間の航空運賃

time_{rs}^{rail} : ゾーン rs 間の鉄道所要時間

Y_r : 発ゾーンGRP（1人あたりGRP×人口）

Y_s : 着ゾーンGRP（1人あたりGRP×人口）

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$: パラメータ

パラメータ推定における各種統計指標は表-1 のとおりである。

表-1 OD 需要関数のパラメータ推定結果

		Adjusted R ²	0.6246
		サンプル数	338
		パラメータ値	t 値
定数項	β_0	-11.716	-4.13
航空ラインホール時間 (分)	β_1	-1.587	-2.70
航空ラインホール費用 (円)	β_2	-0.849	-1.55
鉄道所要時間 (分)	β_3	1.745	6.77
発地 GRP (百万円)	β_4	0.894	19.60
着地 GRP (百万円)	β_5	0.899	19.87

この方法では、ODが真の出発地・目的地を表現するものではないため、空港存在地域のGRPを用いて発生量・集中量等を表現することになり、その点について若干の論理的な不整合が生じる点に注意を要する。しかし、国内航空におけるトランジット旅客のボリュームが比較的小さいことを鑑みれば、需要関数の推定においては大きな影響はないと考えられる。

また、ここで推定されたパラメータは、羽田空港等における空港容量制約など、本モデルでは明示的に扱われていない外的要因による影響も内包した値であることにも留意する必要がある。

4.3 エアラインの費用関数

本研究では、費用関数について航空会社別に違いはないと仮定し、また公租公課は輸送量に応じた可変費に内包されたものと見なし、以下のように線形関数として設定した。

$$C_{rs}^m(q_{rs}^m) = \alpha \times q_{rs}^m \quad (7)$$

ただし、費用関数の一般形は、式(3)のように、航空会社や航空路線の特性および公租公課による費用特性の差異を反映することが可能な関数形を想定している。費用関数の精緻化については今後の課題とする。

大手航空会社3社（JAL, ANA, JAS）の2000年度における財務データ（航空統計要覧）より、パラメータを $\alpha = 9.1015$ 円/人キロ（1995年価格）と設定した。

ここで、可変費用は、大橋ら(2004)と同様に、人件費、航空燃油費、整備費、運航施設利用費、代理店手数料、航空保険費からなると仮定した。なお、着陸料や燃料税などの政策変数は運航施設利用費、航空燃油費に含まれることになる。また、ここでの費用は国際線も含む費用である。

4.4 ODゾーン間航空市場モデルの現況再現性

ODゾーン間航空市場モデルの均衡解は、式(6)と式(7)を式(5)の連立方程式へ代入して解くことにより得られる。ここでは、2000年の国内航空輸送実績を対象に、現況再現性を検討する。

なお、均衡モデル体系の再現性検証に着目するため、求解の際には、各ODについてOD需要関数の定数項補正を行い、現況を完全に再現できる形として用いる。また、ここでは簡単のため、すべてのゾーン間に2社のエアラインが参入していると仮定した。この仮定により、1社あたりの需要については、実際の参入社数を用いていないため乖離が大きくなる可能性があるが、ODペアの需要については影響が少ないと考えられる。

航空運賃については、全体的に過小推計（図-3）となっている。このことについて、運賃の実績値が正規運賃であるのに対し、均衡解で算出される運賃はエアラインの実際の限界費用に基づく値であり、実勢運賃に近い挙動を示していることが要因の1つとして考えられる。航空需要量（図-4、図-5）については、運賃の再現誤差と関連して、全体的に過大推計傾向となっている。

また、OD需要関数の再現性自体について、表-1に示されるように、決定係数が高くない値である。今後、実勢運賃の推定およびこれを採用したOD需要関数推定、相関の向上をもたらす新たな説明変数の導入などを検討する必要がある。

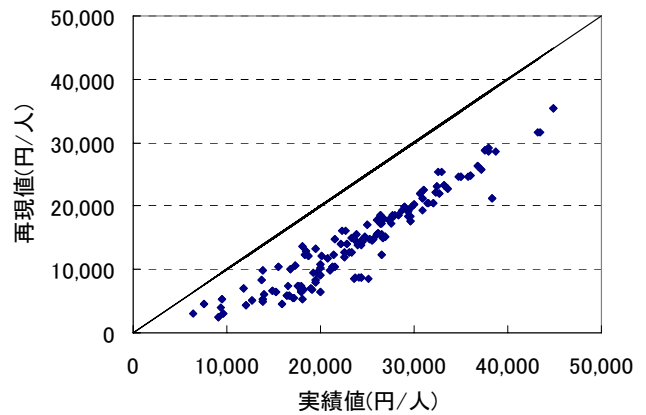


図-3 航空運賃の現況再現性

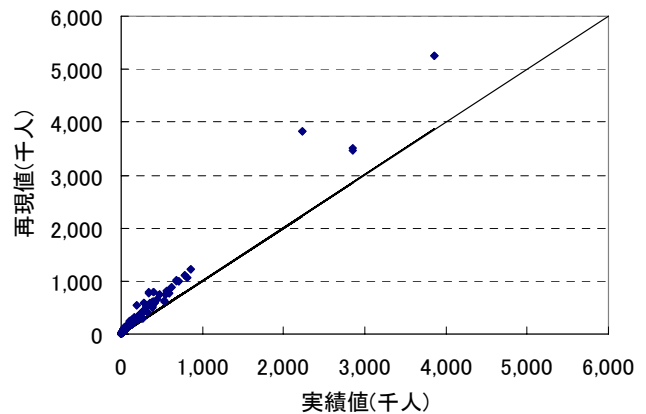


図-4 航空需要量の現況再現性

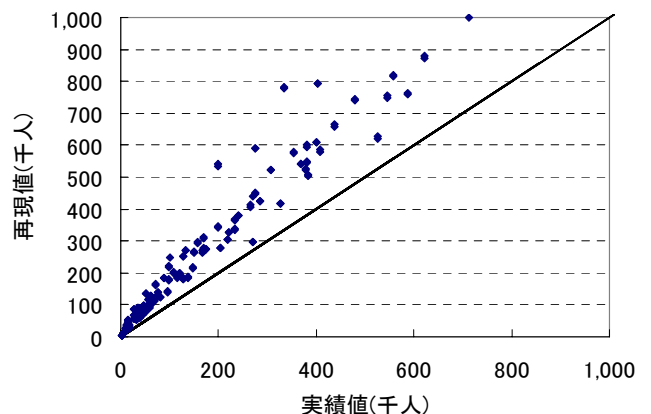


図-5 航空需要量の現況再現性(100万人以下)

4.5 シナリオによる感度分析

モデル出力の挙動を分析するために、仮想的な外生シ

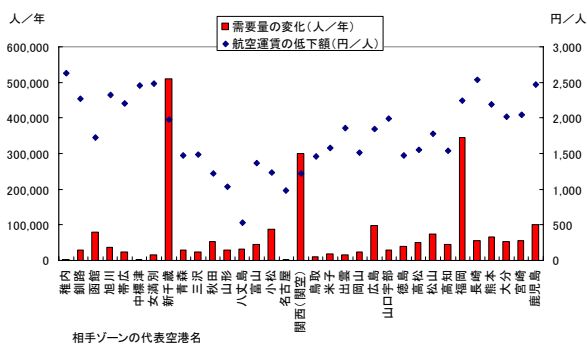


図-6 需要と運賃の変化

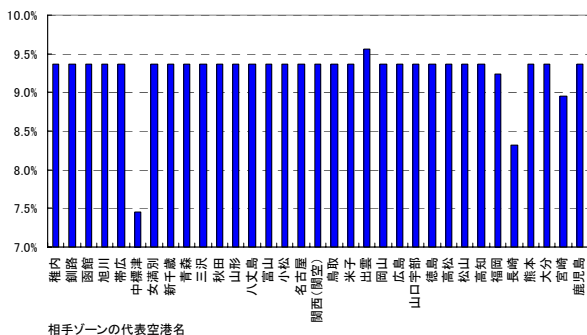


図-7 需要の変化率

ショックを与えて、解の変化を観察する。本節では、エアラインの費用パラメータである、 α が2000年時から10%低下したシナリオを与えた。このシナリオにおける、東京発ODの需要量変化(2000年再現結果からの変化)を図-6に示す。

図-6より、新千歳、関西、福岡等で需要量の変化が大きく、また北海道、鹿児島等の遠距離ゾーンペアで運賃の低下分が大きいことが分かる。この特性は、エアラインの費用がゾーン間距離に対して線形関係であるため、遠距離ゾーンペアにおける費用および運賃変化が大きくなることから、容易に理解できる。

需要の変化率は、図-7に示すように、多くのゾーン間で同一に近い値となっている。限界費用 α の値と需要関数のパラメータは、全ODについて共通であるため、異なるゾーン間においても需要の変化率が等しくなることは明らかである。変化率に差が見られるのは、非線形連立方程式を数値的に解く際の収束誤差と考えられる。したがって、本モデルは概ねロバストな特性を持つものの、わずかな誤差が生じる可能性について留意が必要である。

5. 路線便数配分モデル

5.1 路線便数配分モデルの定式化

路線便数配分モデル構築においては、ODゾーン間航空市場モデルにおけるエアラインの行動と不整合を起こさない形の定式化を行う必要がある。すなわち、ODゾーン間航空市場モデルにより各エアラインの提供する座席数、運賃および旅客の空港間ODは決定されているので、路線便数配分モデルではこれらの変数を固定した上で、エアラインの合理的な行動を表現する必要がある。

そこで、本研究は、エアラインの行動規範として「各便の機材容量と需要とのギャップを最小化する」ことを想定したモデル化を行う。すなわち、望ましいロードファクター(以下、目標ロードファクターと呼ぶ)からの乖離が小さくなるように、ロードファクターが調整されるよう、各路線の便数が決定される。路線便数配分モデルのフローを図-8に示す。本モデルでは、エアラインの路線別便数配分と、旅客の経路選択行動の均衡解として、路線別便数および旅客数が導出される。

エアラインの便数配分は、以下のように定式化される。

$$\min_{Freq_{rs}^1, Freq_{rs}^2, \dots, Freq_{rs}^k} \sum_k (Capa_{rs}^{ik} \cdot Freq_{rs}^{ik} - D_{rs}^{ik})^2 \quad (8)$$

subject to

$$\sum_{k \in K} D_{rs}^{ik} = \bar{q}_{rs}^i \quad (9)$$

$$Capa_{rs}^{ik} \cdot Freq_{rs}^{ik} - D_{rs}^{ik} \geq 0 \quad (k = 1, \dots, K) \quad (10)$$

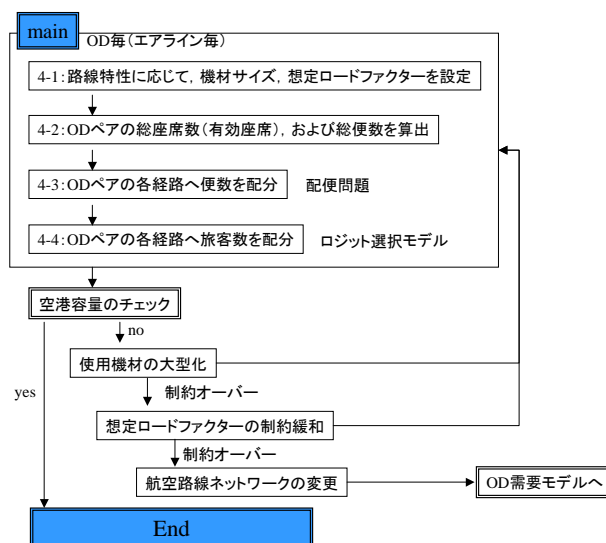


図-8 路線便数配分モデルのフロー

$$Capa_{rs}^{ik} = Seat_{rs}^{ik} \cdot LF_{rs}^{ik} \quad (11)$$

$Capa_{rs}^{ik}$: rs 間のエアライン i の航空経路 k の機材容量

$Freq_{rs}^{ik}$: rs 間のエアライン i の経路 k の便数

D_{rs}^{ik} : rs 間のエアライン i の経路 k の旅客数

\overline{q}_{rs}^i : rs 間のエアライン i の総旅客数 (先決)

$Seat_{rs}^{ik}$: rs 間のエアライン i の経路 k の機材サイズ (座席数)

LF_{rs}^{ik} : rs 間のエアライン i の経路 k の目標ロードファクター

なお, D_{rs}^{ik} は, 後述する旅客の経路配分モデルより与えられ, 各経路の空港アクセシビリティ指標, 運航頻度等の関数として表される.

旅客の経路配分モデルは, ロジット型選択モデルとして表現する. 本研究では, 平成 14 年度に航空局で開発された国内航空旅客需要予測モデルの航空経路選択モデルのパラメータ推定結果を用いる. なお, 本モデルでは目的別のパラメータを用いることはできないが, 現行モデルの航空経路分担モデルのパラメータは業務目的・観光私用目的で大きな違いはないため, ここでは業務目的を採用して再現性等を確認することとした. また, 滞在可能時間については簡単のため考慮していない.

経路配分は以下の式により表される.

$$P_{rrss}^{ik} = \frac{\exp(V_{-k_{rrss}^{ik}})}{\sum_{k \in K} \exp(V_{-k_{rrss}^{ik}})} \quad (12)$$

$$V_{-k_{rrss}^{ik}} = \sum_{n \in N} (\phi_n \cdot X_{rrss-n}^{ik}) \quad (13)$$

$$D_{rs}^{ik} = \sum_{rr \in R} \sum_{ss \in S} (D_{rrss}^i \cdot P_{rrss}^{ik}) \quad (14)$$

rr: OD ゾーン r の中に含まれる生活圏ゾーン

ss: OD ゾーン s の中に含まれる生活圏ゾーン

P_{rrss}^{ik} : rrss 間のエアライン i の経路 k に関する選択確率

$V_{-k_{rrss}^{ik}}$: rrss 間のエアライン i の経路 k に関する効用関数

X_{rrss-n}^{ik} : 上記効用関数における n 番目の説明変数

D_{rrss}^i : rrss 間においてエアライン i を利用する旅客数

ϕ_n : パラメータ

ただし

$$D_{rs}^i = \sum_{rr \in R} \sum_{ss \in S} D_{rrss}^i \quad (15)$$

である. 本研究では, D_{rrss}^i の D_{rs}^i に対する比率は, 現在パターン比率を用いて与えた.

表-2 航空経路配分モデルのパラメータと再現性

	業務目的	観光・私用等目的
航空ラインホル時間 (分)	-2.35533E-02 -8.3	-1.72316E-02 -6.6
航空ラインホル費用 (円)	-2.94753E-04 -2.4	-2.67557E-04 -2.1
ln [路線運航頻度 (便/日)]	7.52284E-01 9.2	7.72880E-01 4.1
滞在可能時間 (分)	1.88510E-03 4.8	1.81855E-03 6.8
アクセシビリティ指標	7.59895E-01 19.8	7.54901E-01 14.9
尤度比	0.388	0.351
的中率 (%)	73.5	71.5
時間評価価値 (円/hr)	4795	3864
サンプル数	3297	3191

注) 上段: パラメータ値, 下段: t 値
資料: 国土交通省資料

5.2 路線便数配分モデルの現況再現性

ここでは, 2000 年度の実績値および説明変数を用いて, 路線便数配分モデルの現況再現性を検証する. なお, 再現性検証においては, 東京-大阪間 OD の経路配分を事例として取り上げた.

前提条件のうち, 機材容量については, 実際に各経路を飛行している航空機材をクラス別平均座席数で加重平均することにより, 経路別の平均機材容量として求めた. 目標ロードファクターに関しては, 2000 年実績のロードファクターの値を路線別に適用した (2000 年現況値で最適のロードファクターで運航していると仮定した).

以上の前提条件および, 表-2 のパラメータを用い, 式(8)から式(11)で表される最適化問題を解き, 経路別の便数を求めた.

結果を図-9 に示す. 羽田-関空が過小推計となっている

るが、全体の傾向は表現できていると考えられる。羽田－関空が過小推計となっている要因の一つとしては、海外便への乗換客の特性が反映されていないことが考えられる。すなわち、関空からの国際航空利用旅客は、伊丹等との選択行動を行わず羽田－関空のみが実質的な選択肢となっているが、こうした行動は本モデルでは表現することができない。

さらに同様の設定で東京－福岡OD（図-10）、大阪－福岡OD（図-11）、および地方路線の例として函館－札幌OD（図-12）について検証を行った。

東京－福岡ODについては東京－大阪ODと概ね同じレベルの再現性が得られていると考えられるが、大阪－福岡ODについては、東京－大阪ODと同様に関空路線が過小に推計される傾向にある。函館－札幌ODについては全体に過小推計となっている。こうした過小推計の原因として、機材サイズおよび目標ロードファクターの前提条件設定において、実際とのずれが生じている可能性があると考えられる。

6. 本モデルの位置付け

本研究において構築したモデルについて、需要予測手

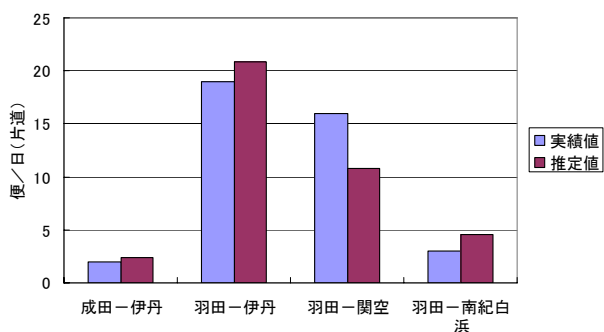


図-9 東京－大阪 OD の配便結果

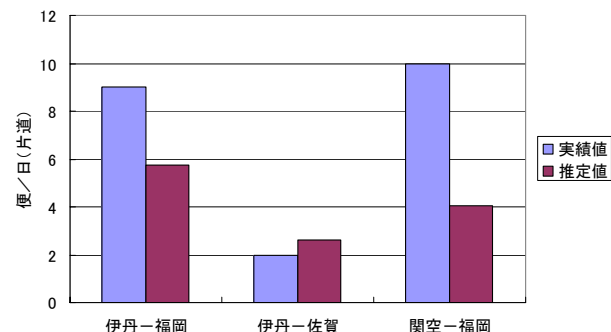


図-11 大阪－福岡 OD の配便結果

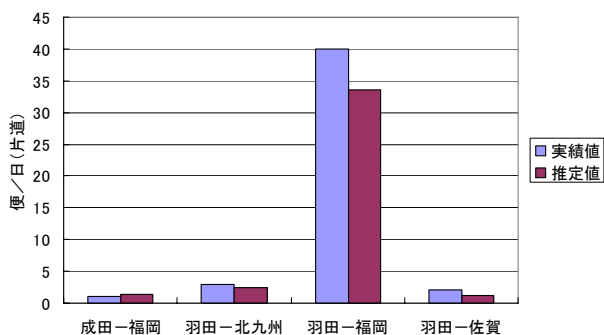


図-10 東京－福岡 OD の配便結果

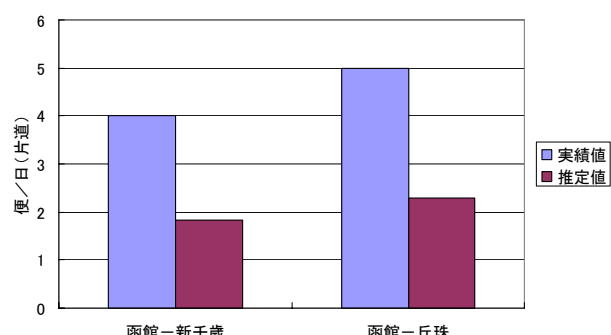


図-12 函館－札幌 OD の配便結果

法としての観点からは、OD 需要関数、配便モデル等については推定精度に課題があり、実務的な需要予測モデルの代替手法として用いることは困難と言える。しかし、本研究で構築したモデルは、四段階推定法に基づく一般的な需要予測手法では評価することができないような供給者（エアライン）行動の分析も可能である。したがって、本モデルは、既存の需要予測モデルと補完的な関係の機能を持つモデルと位置付けられる。

7. おわりに

本研究は、クールノー型寡占市場を反映した経済均衡モデルと、ロードファクター最適化による路線便数配分モデルを組合せ、供給者であるエアラインの行動を反映した国内航空需要分析モデルを構築した。パラメータ推定および現況再現性の検証に加えて、感度分析も行った。

本モデルで評価可能、あるいは本モデルを発展させることにより評価可能な政策等については、以下のようなものが挙げられる。

まず、着陸料の値上げ・値下げの影響については、ODゾーン間航空市場モデルにおける費用関数のパラメータを変化させることにより、評価することが可能である。

航空燃油税などの値上げ・値下げの影響についても同様に OD ゾーン間航空市場モデルにおける費用関数のパラメータ変化によって分析が可能である。

エアラインの行動に関する状況変化として、機材サイズの変化については、路線便数配分モデルにおいて機材サイズの設定を変えることにより、分析可能である。新規路線開設による影響は、路線便数配分モデルにおいて前提条件となる路線を追加することにより分析することができる。ローコストキャリアの参入に関しては、OD ゾーン間航空市場モデルにおける参入社数設定の変化および費用関数の差別化により、影響を評価することができる。

今後の課題としては、まず、OD 需要関数等の各モデルの精度向上が挙げられる。また、路線便数配分モデルにおける目標ロードファクター等、前提条件の設定方法についても今後検討する必要がある。

謝辞

本研究は、平成 16 年度需要予測手法改善勉強会における検討成果を基に加筆・修正したものであり、同勉強会では、東京海洋大学兵藤哲明助教授、日本大学轟朝幸助教授、神戸大学竹林幹雄助教授、東京電機大学高田和幸助教授をはじめ、国土交通省航空局の政策担当者の方々から貴重なご意見をいただきました。また、分析にあたっては株式会社三菱総合研究所の土谷和之氏、飯田正仁氏に御協力いただきました。この場を借りて謝意を表します。

(2006 年 2 月 15 日)

参考文献

- 大橋忠宏, 安藤朝夫: ネットワークを考慮した航空旅客市場と航空政策のモデル分析, 応用地域学研究, No.2, pp133-144, 1996
- 大橋忠宏, 安藤朝夫: 航空市場でのハブ・スポークネットワーク形成と空港使用料に関する研究, 土木学会論文集, No.611, IV-42, pp33-44, 1999
- 大橋忠宏, 宅間文夫, 土谷和之, 山口勝弘, 堀健一: ネットワークを考慮した航空旅客市場での空港拡張の効果: 羽田空港を例として, 土木学会論文集, No.772, IV-65 pp131-142, 2004
- 黒田勝彦, 竹林幹雄, 平井一人, 正木智也, 鈴木秀彦: 規制緩和下における国際航空旅客輸送市場のモデル分析, 土木計画学研究・論文集, No.16, pp835-843, 1999
- 国土交通省航空局: 平成 14 年度航空需要予測手法に関

- する調査報告書, 2003
- 高田和幸, 屋井鉄雄, 原田誠: エアライン間提携の影響分析手法に関する研究, 土木学会論文集, No.667, IV-50, pp73-83, 2001
- 竹林幹雄, 黒田勝彦, 鈴木秀彦, 宮内敏昌: 完全競争市場として見た国際航空旅客輸送市場のモデル分析, 土木学会論文集, No.674, IV-51, 35-48, 2001
- 竹林幹雄: わが国国内航空旅客輸送市場への LCC 参入に関する一考察, 土木計画学研究・講演集, No.31, CD-ROM, 2005
- Ghobrial, A. and Kanafani, A.: Future of Airline Hubbed Networks: Some Policy Implications, Journal of Transportation Engineering vol.121, No.2, 124-134, 1995
- Hansen, M. and Kanafani, A.: Hubbing and Rehubbing at JFK International Airport - The ALIGATER Model, University of California Transportation Center Working Paper, No.408, 1989
- Hansen, M.: Airline Competition in a Hub-Dominated Environment: An Application of Noncooperative Game Theory, Transportation Research -B vol.24B, No.1, 27-43, 1990
- Kanafani, A. and Ghobrial, A.: Airline Hubbing -Some Implications for Airport Economics, Transportation Research -A vol.19A, No.1, 15-27, 1985
- Oum, T., Zhang, A. and Zhang, Y.: Airline Network Rivalry, Canadian Journal of Economics, vol.28, pp.836-857, 1995

付録 OD ゾーン間航空市場モデルのゾーン区分方法

本モデルの Step1 にて OD 需要関数（グラビティモデル）を構築する際、計算量の点から、ゾーン分けにより日本全国の OD 間需要の数をある程度の数まで絞る必要がある。今回の検討では、以下の考え方・手順に基づき全国 207 生活圏を 47 ゾーンに分類し、この 47 ゾーン間でのゾーン間航空需要量を、step1 のグラビティモデルにより計算した。

○考え方

・生活圏ごとに、利用者数が最大の空港を代表空港（全国 48 空港）として定義し、代表空港が同じ生活圏は、同一ゾーンとして統合

○ゾーン作成手順

- ・2000 年幹線旅客純流動調査データから、「代表交通機関：航空」のデータを抽出
- ・抽出条件として、往路と想定される「出発地＝居住地」、復路と想定される「目的地＝居住地」となっているトリップデータの数を、生活圏ごとに単純集計（この操作により、トリップパターンが周遊または不明のデータを除去）

※ただし、関西における 3 空港（関西国際空港、伊丹空港、神戸空港）の役割分担に関する分析を考慮し、関西国際空港を代表空港とするゾーンと、伊丹空港を代表空港とするゾーンに関しては、関西国際空港を代表空港とするゾーンに統一している。

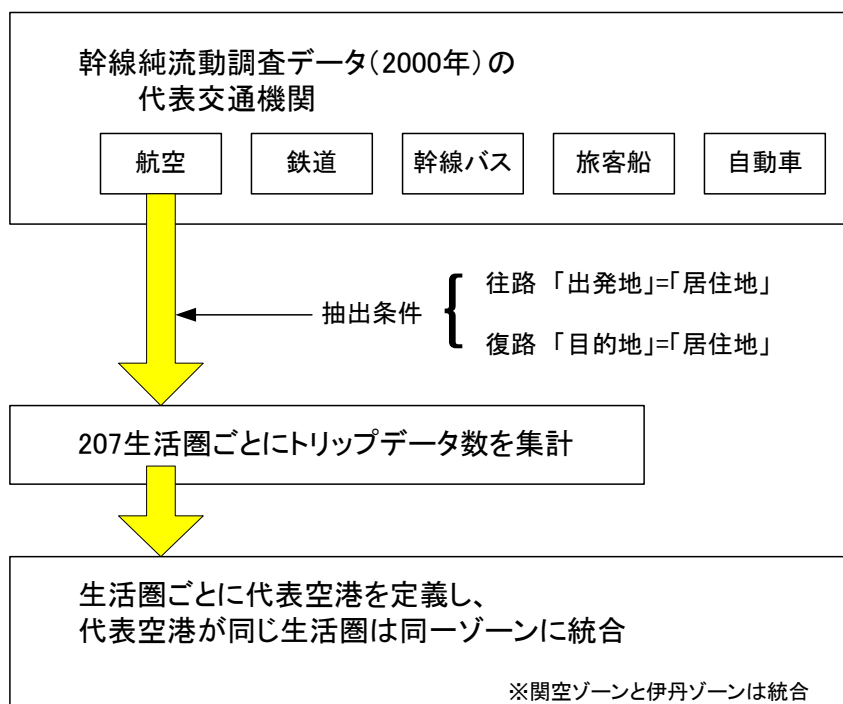


表 47 ゾーン別空港名

47ZONE	代表空港名	ゾーン内の他空港名	空港数
1	稚内	利尻、礼文	3
2	釧路		1
3	函館	奥尻	2
4	旭川		1
5	帯広		1
6	根室中標津		1
7	女満別	オホーツク紋別	2
8	札幌(新千歳)	丘珠	2
9	青森		1
10	三沢		1
11	花巻		1
12	仙台		1
13	秋田		1
14	大館		1
15	山形		1
16	庄内		1
17	福島		1
18	東京(羽田)	成田、調布	3
19	八丈島	大島、三宅島、新島、神津島、青ヶ島、御蔵島、利島	8
20	新潟	佐渡	2
21	富山		1
22	小松	能登	2
23	松本		1
24	名古屋		1
25	関西国際	大阪(伊丹)、但馬、南紀白浜	4
26	鳥取		1
27	米子		1
28	出雲	隠岐	2
29	石見		1
30	岡山		1
31	広島	広島西	2
32	山口宇部		1
33	徳島		1
34	高松		1
35	松山		1
36	高知		1
37	福岡	北九州、佐賀、壱岐	4
38	長崎		1
39	五島福江	上五島、小値賀	3
40	対馬		1
41	熊本	天草	2
42	大分		1
43	宮崎		1
44	鹿児島	種子島、屋久島	3
45	奄美	喜界島、沖永良部、与論、徳之島	5
46	沖縄(那覇)	南大東、久米島、北大東、粟国、慶良間	6
47	石垣	宮古、与那国、多良間、波照間、下地	6
合計			90

表1 47ゾーン-207生活圏対応表

47ZONE	居住地(出発地・目的地)	生活圏名	中心都市	代表空港	空港名	47ZONE	居住地(出発地・目的地)	生活圏名	中心都市	代表空港	空港名
1	道北	稚内	稚内	北海道	稚内	24	愛知	豊田	豊田	愛知県	名古屋
2	道東	釧路	釧路	北海道	釧路	24	愛知	名古屋	名古屋	愛知県	名古屋
3	道南	函館	函館	北海道	函館	24	静岡	浜松	浜松	愛知県	名古屋
4	道北	旭川	旭川	北海道	旭川	24	三重	四日市	四日市	愛知県	名古屋
5	道北	名士	名士	北海道	旭川	24	三重	津	津	愛知県	名古屋
6	道東	帯広	帯広	北海道	帯広	24	三重	伊勢志摩	伊勢	愛知県	名古屋
7	道東	札幌	札幌	北海道	札幌	24	三重	尾鷲	尾鷲	愛知県	名古屋
8	道東	札幌	札幌	北海道	札幌	25	福井	敦賀	敦賀	愛知県	名古屋
9	道東	札幌	札幌	北海道	札幌	25	福井	敦賀	敦賀	愛知県	名古屋
10	道東	札幌	札幌	北海道	札幌	25	滋賀	大津	大津	愛知県	名古屋
11	道東	札幌	札幌	北海道	札幌	25	滋賀	大津	大津	愛知県	名古屋
12	道東	札幌	札幌	北海道	札幌	25	滋賀	大津	大津	愛知県	名古屋
13	道東	札幌	札幌	北海道	札幌	25	滋賀	大津	大津	愛知県	名古屋
14	道東	札幌	札幌	北海道	札幌	25	滋賀	大津	大津	愛知県	名古屋
15	道東	札幌	札幌	北海道	札幌	25	滋賀	大津	大津	愛知県	名古屋
16	道東	札幌	札幌	北海道	札幌	25	滋賀	大津	大津	愛知県	名古屋
17	道東	札幌	札幌	北海道	札幌	25	滋賀	大津	大津	愛知県	名古屋
18	道東	札幌	札幌	北海道	札幌	25	滋賀	大津	大津	愛知県	名古屋
19	道東	札幌	札幌	北海道	札幌	25	滋賀	大津	大津	愛知県	名古屋
20	道東	札幌	札幌	北海道	札幌	25	滋賀	大津	大津	愛知県	名古屋
21	道東	札幌	札幌	北海道	札幌	25	滋賀	大津	大津	愛知県	名古屋
22	道東	札幌	札幌	北海道	札幌	25	滋賀	大津	大津	愛知県	名古屋
23	道東	札幌	札幌	北海道	札幌	25	滋賀	大津	大津	愛知県	名古屋
24	道東	札幌	札幌	北海道	札幌	25	滋賀	大津	大津	愛知県	名古屋
25	道東	札幌	札幌	北海道	札幌	25	滋賀	大津	大津	愛知県	名古屋
26	道東	札幌	札幌	北海道	札幌	25	滋賀	大津	大津	愛知県	名古屋
27	道東	札幌	札幌	北海道	札幌	25	滋賀	大津	大津	愛知県	名古屋
28	道東	札幌	札幌	北海道	札幌	25	滋賀	大津	大津	愛知県	名古屋
29	道東	札幌	札幌	北海道	札幌	25	滋賀	大津	大津	愛知県	名古屋
30	道東	札幌	札幌	北海道	札幌	25	滋賀	大津	大津	愛知県	名古屋
31	道東	札幌	札幌	北海道	札幌	25	滋賀	大津	大津	愛知県	名古屋
32	道東	札幌	札幌	北海道	札幌	25	滋賀	大津	大津	愛知県	名古屋
33	道東	札幌	札幌	北海道	札幌	25	滋賀	大津	大津	愛知県	名古屋
34	道東	札幌	札幌	北海道	札幌	25	滋賀	大津	大津	愛知県	名古屋
35	道東	札幌	札幌	北海道	札幌	25	滋賀	大津	大津	愛知県	名古屋
36	道東	札幌	札幌	北海道	札幌	25	滋賀	大津	大津	愛知県	名古屋
37	道東	札幌	札幌	北海道	札幌	25	滋賀	大津	大津	愛知県	名古屋
38	道東	札幌	札幌	北海道	札幌	25	滋賀	大津	大津	愛知県	名古屋
39	道東	札幌	札幌	北海道	札幌	25	滋賀	大津	大津	愛知県	名古屋
40	道東	札幌	札幌	北海道	札幌	25	滋賀	大津	大津	愛知県	名古屋
41	道東	札幌	札幌	北海道	札幌	25	滋賀	大津	大津	愛知県	名古屋
42	道東	札幌	札幌	北海道	札幌	25	滋賀	大津	大津	愛知県	名古屋
43	道東	札幌	札幌	北海道	札幌	25	滋賀	大津	大津	愛知県	名古屋
44	道東	札幌	札幌	北海道	札幌	25	滋賀	大津	大津	愛知県	名古屋
45	道東	札幌	札幌	北海道	札幌	25	滋賀	大津	大津	愛知県	名古屋
46	道東	札幌	札幌	北海道	札幌	25	滋賀	大津	大津	愛知県	名古屋
47	道東	札幌	札幌	北海道	札幌	25	滋賀	大津	大津	愛知県	名古屋

国土技術政策総合研究所資料
TECHNICAL NOTE of NILIM
No.314 June 2006

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写のお問い合わせは

〔 〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1
管理調整部企画調整課 電話:046-844-5018 〕