

ISSN 1346-7328

国総研資料 第902号
平成 28 年 3 月

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.902

March 2016

空港間競争を踏まえた国際航空トランジットモデルの開発

井上 岳・川西 和幸・小野 正博

A International Air Demand Model for Connecting Traffic Flows
between Asian and North-American Destinations

Gaku INOUE, Kazuyuki KAWANISHI, Masahiro ONO

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, Transport and Tourism, Japan

空港間競争を踏まえた国際航空トランジットモデルの開発

井上 岳*・川西和幸**・小野正博***

要 旨

航空政策の企画立案を目的として開発及び適用がなされている航空需要予測モデルのうち、所謂「際際トランジット」（日本を入出国することなく、本邦空港のいずれかにおいて国際線相互を乗り継ぐ旅客）を予測するモデルは、出入国外国人の数に定数を単純に乗じた原単位型のものであり、乗継の態様が将来にわたりほぼ不変であることを前提としている。しかしながら、当該仮定は、東アジアの諸空港において空港開発による空港間競争が進展していることを踏まえると、妥当な仮定であるとは言い難い。

これを踏まえ、国土技術政策総合研究所において、国際航空トランジットモデルのプロトタイプを開発した。本資料は、モデルの概要及び再現性を検証した結果を報告するものである。

キーワード：航空需要予測，国際航空トランジット

*空港研究部 主任研究官
**空港研究部 空港計画研究室 研究員
***空港研究部 空港計画研究室長
〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 国土交通省国土技術政策総合研究所
電話：0468-44-5032 Fax：0468-44-5080 inoue-g23i[at]mlit.go.jp

Ap International Air Demand Model for Connecting Traffic Flows between Asian and North-American Destinations

Gaku INOUE*
Kazuyuki KAWANISHI**
Masahiro ONO***

Synopsis

The NILIM-Civil Aviation Demand Forecasting model, a basis for formulating the national civil aviation and airport strategic policy, has not taken actual connecting traffic flows between Asian and North-American destinations into consideration.

We developed a prototype for assessing the effect by changes in civil aviation network over Pacific routes by future development of airport infrastructure in East Asian countries and increase in the number of direct flights.

Key words : Aviation Demand Forecast, Connecting Traffic Flows

* Senior Resercher, Airport Department
** Research Engineer, Airport Planning Division, Airport Department
*** Head of Airport Planning Division, Airport Department
3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan
Phone : +81-468-44-5032 Fax : +81-468-44-5080 e-mail:inoue-g23i[at]mlit.go.jp

目 次

1. はじめに	1
2. 方法	2
2.1 モデルの基本枠組.....	2
2.2 運賃関数	2
2.3 航空経路選択モデル.....	2
2.4 分布交通量モデル.....	3
2.5 入力データ	3
3. 結果	4
3.1 パラメタの推定結果.....	4
3.2 統計的検定	4
3.3 現況再現性	6
4. おわりに	6
謝辞	7
参考文献	7
付録 A 本研究におけるゾーニング.....	9

1. はじめに

国際航空旅客需要は、SARS・テロの危険性等の社会情勢の影響を受けた旅客数の一時的変動が見られるが、中長期的にはその増大及び多様化が見込まれる。我が国の立地競争力を更に強化するため、こうした旅行者の海外渡航利便性の更なる向上が必要であり、国際空港の整備、配置及び空港間の機能分担を早急に検討する必要がある。これは、日本再興戦略改訂2015（平成27年6月30日閣議決定）における施策の一つに「『2000万人時代』への航空・バス、宿泊施設等の供給確保の加速」が掲げられたことから明らかである。

運航路線及び運航頻度といった国際航空ネットワークの態様は、旅行者の海外渡航利便性を決定づける重大な因子である。例えば、北米路線のなかで旅客数が最大である成田～ロサンゼルス線（東航）にあっては、日本以外の第三国を出発空港とし成田国際空港で乗継する旅客が約4割を占めており、トランジットの態様も、短期及び長期における本邦国際航空ネットワークの態様、なら

びに、国際空港の整備、配置及び空港間の機能分担の在り様に重大な影響を及ぼす。

航空政策の企画立案を目的として開発及び適用がなされている航空需要予測モデル（国土技術政策総合研究所（2007））のうち、所謂「国際トランジット」（日本を出入国することなく、本邦空港のいずれかにおいて国際線相互を乗り継ぐ旅客）を予測するモデルは、出国外国人の数に定数を単純に乗じた原単位型のものであり、国際トランジットの態様は将来にわたりほぼ不変であることを前提としている。本邦空港における乗継旅客数は近年顕著な減少を示していること（井上・小野（2014））、図-1に示すとおり東アジアの諸空港において空港開発等による空港間競争が進展していることを踏まえると、妥当な仮定であるとは言い難い。このため、国土技術政策総合研究所において、国際航空トランジットモデル改訂に取り組み、そのプロトタイプを開発した。本資料は、モデルの概要及び再現性を検証した結果を報告するものである。

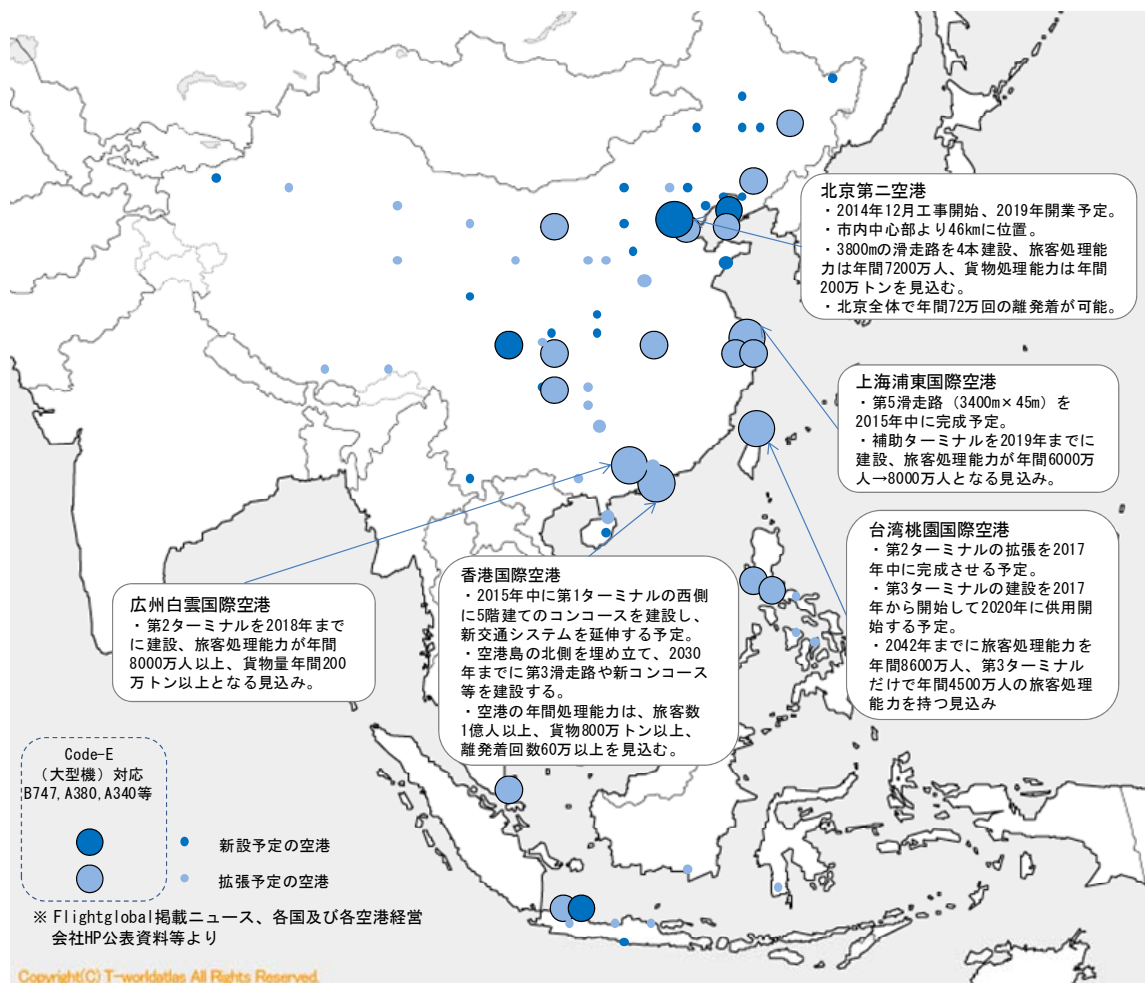


図-1 東アジアにおける空港開発の近年の動向

2. 方法

2.1 モデルの基本枠組

国際航空トランジットモデルの開発にあたっては、運賃や運航頻度など、航空経路毎の交通サービス水準(LOS: Level of Service) の差異による影響の評価を可能ならしめるものとし、多項ロジットモデルを念頭とした航空経路選択モデルの構築を行った。

国総研航空需要予測モデルにおいて採用している交通機関選択モデル及び航空経路選択モデルにおいては、競合経路間の航空運賃はほぼ安定しているものとみなし、これを外生変数とし、国内旅客の需要予測においては丹生(2010)及び丹生他(2011)による実勢運賃を、日本発着の国際旅客の需要予測においてはキャリア運賃(OFC「日本発キャリア運賃(IT運賃を除く)」)を入力している。一方、本研究で提案する国際航空トランジットモデルは、2.5節に説明するとおり、航空市場の需給関係が反映された運賃データを利用する。計量経済学の知見によれば、運賃を外生変数とみなして扱うことができるのは、経路毎の航空需要と運賃が無相関の場合に限られる。このため、当該データを、航空経路選択モデルの説明変数としてそのまま採用することができない。

そこで、Hsiao and Hansen(2011)及びMumbower et al.(2014)等を踏まえ、操作変数法(Instrumental Variable)を採用することとし、運賃関数を別途準備する。当該関数によって推定される航空運賃を航空経路選択モデルの入力データとして用いる。

また、交通利便性が向上することにより、OD間の分布交通量が増加する影響を取り入れるため、分布交通量モデルを別途作製する。

以上の概要をまとめると、図-2のとおりとなる。

2.2 運賃関数

航空経路選択モデルに入力する航空運賃を推定するための運賃関数を推定する。

航空運賃は、基礎的な要素である路線距離等に加えて、航空会社間の競争状況やジェット燃料価格の変化等に応じて変化すると考えられる。

そこで、運賃関数は、OD間の航空運賃(FARE)を、OD間の路線距離(DIST:Distance)やOD間の乗継回数(TRS:Transit)、OD間の上級席数シェア(HCS:High Class Sheets Share)、その他のアライアンスや出発地、アジアハブ空港固有のダミー変数で説明されるものとした。

このような運賃関数は、式(1)のとおり、対数線形モデルを最小二乗推定することにより得られる。

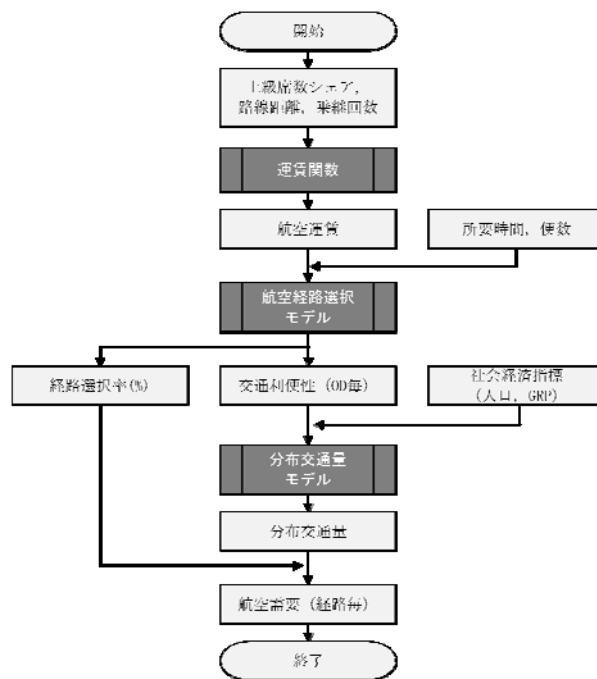


図-2 モデルの基本枠組

$$\ln FARE = a + b_1 \ln HCS + b_2 \ln DIST + b_3 \ln TRS + \sum_k b_k DMY_k \quad (1)$$

ただし、

FARE : OD 経路別の航空運賃 (USD/人)

HCS : OD 経路別の上級席数シェア

DIST : OD 経路別の総飛行距離 (km)

複数区間を乗り継ぐ場合は、全区間の路線距離合計

TRS : OD 経路別の乗継回数 (回)

DMY_k : k 番目のダミー変数 (状況に応じて1または0となる変数)

b_k : パラメータ

である。

2.3 航空経路選択モデル

OD間の航空経路分担率を、OD間の航空運賃、所要時間、運航便数、乗継回数といった交通サービス水準で説明する航空経路選択モデルを、式(2)のとおり集計ロジットモデルとして構築する。

$$P_{ijr} = \frac{\exp(V_{ijr})}{\sum_{r \in C_{ij}} \exp(V_{ijr})} \quad (2)$$

ただし、

$$V_{ijr} = \sum_k \beta_k \cdot X_{ijk} + \gamma \cdot FARE_{ijr} \quad (3)$$

(4)

P_{ijr} : アジアゾーン*i*と北米ゾーン*j*間での航空経路*r*の
選択確率

V_{ijr} : アジアゾーン*i*と北米ゾーン*j*間で航空経路*r*を選
択するときの効用

C_{ij} : アジアゾーン*i*と北米ゾーン*j*間で選択可能な航空
経路の集合

X_{ijkr}, β_k : アジアゾーン*i*と北米ゾーン*j*間で航空経路
*r*を選択する場合の*k*番目の交通サービス指標
(航空運賃を除く総所要時間、総費用、便数な
ど) およびそのパラメタ

$FARE_{ijr}, \gamma$: アジアゾーン*i*と北米ゾーン*j*間で航空経
路*r*を選択する場合の運賃関数から推計された
航空運賃およびそのパラメタ

である。

当該モデルの推定は、操作変数法を適用するため、OD
ごとに利用可能な航空経路ペアの対数選択率および確定
効用関数の差分を用いた最小二乗法による推定を行うこ
とになるが、そのまま推定すると、国総研航空需要モデ
ルなど一般的に適用される最尤法による推定とは異なり、
ODごとの需要の大きさがモデルに反映されない。つまり、
高需要路線と低需要路線とが同じ1サンプルとして推計
されることになる。政策実務に適用可能な需要予測を可
能ならしめるためには、需要の大きさを適確にモデルに
反映することが必要である。

このため、OD需要を重みとして、航空経路選択モデル
を推定する。しかしながら、OD需要をそのまま重みとし
て与えると*t*値の水準が極めて大きくなり、説明変数の取
捨選択や考察に支障をきたす場合があることから、重み
の合計値がODペア数と一致させるよう、必要な調整を行
うこととした。

2.4 分布交通量モデル

OD間の航空旅客数を、OD各々の都市人口および1人当
たり実質GRP、航空経路選択モデルから計算されるOD間
のアクセシビリティ指標等で説明する対数線形モデルを、
式(4)のとおり構築した。

$$\ln Q_{ij} = \alpha + \beta_1 (\ln POP_i + \ln POP_j) + \beta_2 (\ln GRP_i + \ln GRP_j) + \beta_3 ACC_{ij} + \sum_k \gamma_k DMY_k$$

ただし、

Q_{ij} : ゾーン*ij*間の分布交通量 (人/年)

POP_i, POP_j : ゾーン*i*およびゾーン*j*の都市人口 (千
人)

GRP_i, GRP_j : ゾーン*i*およびゾーン*j*の都市一人当た
りGRP (百万ドル/年)

ACC_{ij} : ゾーン*ij*間のアクセシビリティ指標

DMY_k : *k*番目のダミー変数

である。

なお、アクセシビリティ指標 ACC_{ij} は、航空経路選択
モデルにおいて推定した効用関数 (式(3)) を用いて、

$$ACC_{ij} = \ln \sum_r \exp V_{ijr} \quad (5)$$

のとおり算定される。

2.5 入力データ

国際航空トランジットモデルの開発のためには、アジ
ア-北米間の路線別国際航空旅客について、経路別の利
用実績、航空運賃等のデータが不可欠となる。Sabre
Airlines Solutionsが提供するO&D Market (以下「SABRE
データ」という。)は、航空会社の予約システム等から
得た、空港間の航空旅客数のデータや路線毎の収益を世
界規模で提供している。当該データベースにより空港毎
の旅客数を集計すると、空港国際評議会 (ACI: Airports
Council International) や国際航空民間機関 (ICAO:
International Civil Aviation Organization) の公式
統計と少なからず乖離する問題がある (山田他 (2014))。
しかしながら、他に有効なデータソースが存在しないた
め、本研究はSABREデータに依拠したモデル構築を行うこ
とを基本とした。

入力データに関する更に詳細な説明は以下のとおり。

(1) ゾーニング

羽田空港の北米線では、直行便就航都市に限られてお
り、北米側のハブ空港が必ずしも最終目的地となるので
はなく、その先の路線に乗継ぐ旅客が多い。アジア側で
も同様に、最初の出発地が必ずしも近隣背後圏というこ
とではない。こうしたアジア-北米間の旅客流動の実態
を踏まえると、アジア側及び北米側双方ともに、地方空
港を含めた最初出発地および最終目的地を念頭に入れたゾ
ーン設定とする必要がある。

このため、アジア側60ゾーン、北米側61ゾーン、合計
121ゾーンを設定した。具体的なゾーン設定は、付録Aの
とおりである。なお、アジア、北米ともに1都市につき1
ゾーン (空港) を基本とする。羽田と成田のように同一

都市圏に複数空港が存在する場合は、分布交通量モデル検討の際には同一ゾーンとして扱い、航空経路選択モデル検討の際には異なるゾーンとして扱う。また、アジア-北米間の需要実績が確認できる空港（都市）を基本とするが、需要の実績が微少なゾーン間（年間3,000人未満のOD）については除外した。

(2) 運賃関数における入力データ

運賃関数の被説明変数である航空運賃は、SABREデータにより経路毎に算定する。具体的には、経路毎の総収入を経路毎の需要で除することにより求める。説明変数である上級席数シェアはSABREデータにより実績値を設定し、路線距離は区間毎に大圏距離を空港座標より算定し経路全体で加算する。

(3) 航空経路選択モデルにおける入力データ

航空経路選択モデルにおける被説明変数である経路選択率は、SABREデータにおける経路毎の需要の割合である。説明変数である総所要時間はOAG時刻表により、同一アライアンスの乗継経路が存在する場合にあっては乗継時間60分以上の組み合わせのうち最小となる総所要時間を、存在しない場合にあっては乗継時間90分以上の組み合わせのうち最小となる総所要時間を設定する。週便数はOAG時刻表により有効頻度（国際便においては毎日運航されるとは限らないため、乗継を含む場合ボトルネックとなる最小便数としたもの）を設定し入力値とした。総費用は、運賃関数を内生変数とする操作変数である。

(4) 分布交通量モデルにおける入力データ

分布交通量モデルにおいて入力データとする都市人口は、国際連合が発行する「Demographic Yearbook」及び各国のセンサスデータを用いることとした。都市における実質GRPは、各都市の1人当たり実質GRPに当該都市の人口を乗じることにより求めた。なお、都市1人あたり実質GRPは、国際通貨基金（IMF）が発行する「World Economic Outlook」を準用し、各都市の1人当たり実質GRPは、当該国の1人当たり実質GDPに等しいと仮定した。

3. 結果

3.1 パラメタの推定結果

(1) 運賃関数

運賃関数のパラメタ推定結果を表-1に示す。需要が僅少な路線による影響を排除するため、年間旅客数3,000人未満の航空経路は除いた。説明変数の組み合わせにより様々なモデルが考えられるが、本研究は赤池情報量規準(AIC)が最小となるものを採択した。

なお、「【アライアンスダミー】ワンワールド」は、

太平洋を横断するフライトに特定の航空アライアンス（ワンワールド）を利用する場合にのみ有効となるダミー変数である。出発国が中国、香港、インド、日本、シンガポール、台湾またはタイとなる場合についても、同様にダミー変数を設定する。また、ハブ空港として成田・羽田、中部、仁川または香港を利用する場合についても、同様にダミー変数を設定した。

自由度調整済決定係数は0.559であり、ある程度有効に推定されているものと思料される。

(2) 航空経路選択モデル

航空経路選択モデルのパラメタ推定結果を表-2に示す。需要が僅少な路線による影響を排除するため、年間旅客数3,000人未満のODは除いた。運賃関数と同様、本研究は赤池情報量規準(AIC)が最小となるものを採択した。

なお、週便数は自然対数に換算した値を入力した。

「Interlineダミー」は、太平洋を横断する便の運航事業者及び乗継便の運航事業者が所属する航空アライアンスが異なる場合に限り有効となるダミー変数である。乗継便がアジア側と北米側になる場合におけるパラメタの感度を異なるものとして設定した。「ハブ空港隣接圏ダミー」は、成田、羽田、香港、仁川及び台北等ハブ空港と出発地が同一の場合に限り有効となるダミー変数である。羽田からの直行便が利用可能で、かつ、成田路線と競合する場合に限り、羽田からの直行便を利用する経路を有利にする正のダミー変数を付すこととし、成田と羽田の競合関係を一部考慮することとした。東アジアにおいて、同一都市圏に立地する複数空港（例えば、上海における浦東及び虹橋）に、北米線運航が複数あるケースは、成田及び羽田に限られる。

自由度調整済決定係数は0.129であるが、通常の最小二乗法におけるものと異なり、モデルの適合度としての意味は何ら有しない。1ドル121円（2015年3月時点）の為替レートで円換算した時間価値は2,024円/時間となっており、概ね妥当な金額となっているものと思料される。

(3) 分布交通量モデル

分布交通量モデルのパラメタ推定結果を表-3に示す。需要が僅少な路線による影響を排除するため、年間旅客数15,000人未満のODは除いた。

自由度調整済決定係数は0.588であり、ある程度有効に推定されているものと思料される。

3.2 統計的検定

操作変数法の採用が妥当であることを確認するため、以下の統計的検定を実施した。なお、本研究において、内生変数の数及び操作変数の数はともに1変数で一致し

表-1 運賃関数のパラメタ推定結果

説明変数	係数	t 値
定数項	-2.947	-3.2
LN(上級席数シェア)	0.105	10.6
LN(総飛行距離) [Km]	1.063	10.9
乗継回数[回]	-0.117	-2.4
【アライアンスダミー】ワンワールド	-0.333	-8.8
【出発地ダミー】中国	0.457	10.1
【出発地ダミー】香港	0.188	3.3
【出発地ダミー】インド	-0.257	-4.3
【出発地ダミー】日本	0.525	8.5
【出発地ダミー】シンガポール	0.387	5.0
【出発地ダミー】韓国	0.430	7.1
【出発地ダミー】台湾	0.285	4.6
【出発地ダミー】タイ	0.162	2.6
【ハブ空港ダミー】成田・羽田	0.147	3.8
【ハブ空港ダミー】中部	0.269	2.5
【ハブ空港ダミー】仁川	0.145	3.4
【ハブ空港ダミー】香港	0.495	9.4
自由度調整済決定係数	0.559	
標本数	503	

表-2 航空経路選択モデルのパラメタ推定結果

説明変数	係数	t 値
総所要時間 [時間]	-0.111	-5.9
総費用 [千USD]	-6.637	-15.7
LN(週便数) [便/週]	0.920	11.6
【Interlineダミー】アクセス	-1.870	-9.3
【Interlineダミー】ラインホール	-2.402	-7.2
【アライアンスダミー】ワンワールド	-3.302	-13.6
【アライアンスダミー】スカイチーム	-0.876	-5.3
【ハブ空港隣接圏ダミー】	4.114	30.4
【ハブ空港所在地ダミー】中国	-1.540	-9.9
【ハブ空港所在地ダミー】香港	4.591	16.7
【ハブ空港所在地ダミー】韓国	-0.345	-2.4
【ハブ空港所在地ダミー】台湾	-1.112	-7.1
羽田直行路線ダミー	-1.062	-2.6
自由度調整済決定係数	0.129	
標本数	32,505	
時間価値 [USD/時間]	16.7	
時間価値 [円/時間]	2,024	

表-3 分布交通量モデルのパラメタ推定結果

説明変数	係数	t 値
定数項	3.039	2.7
アクセシビリティ指標	0.351	10.7
LN(出発地都市人口) [千人]	0.431	7.3
LN(目的地都市人口) [千人]		
LN(出発地一人当たりGRP) [百万USD/年]	0.449	4.8
LN(目的地一人当たりGRP) [百万USD/年]		
【出発地ダミー】日本	-1.965	-5.4
【出発地ダミー】中国	-0.717	-3.8
【出発地ダミー】韓国	-1.137	-3.4
【出発地ダミー】香港	-1.977	-5.0
【出発地ダミー】台湾	-1.021	-2.8
自由度調整済決定係数	0.588	
標本数	442	

ているため、Sargan(Hansen)検定(過剰識別制約検定)は適用しない。

(1) Weak Instruments(弱相関操作変数)の検定

操作変数の中に有意性が低い変数が含まれているか否かを検定するものである。帰無仮説は「操作変数の係数は0(弱相関操作変数)」であり、当該仮説は棄却されるべきである。

検定の結果、F値は421となり、当該仮説は棄却された。

(2) Wu-Hausman検定

操作変数法による推定結果と、通常の最小二乗法による推定結果との間に有意な差異があるか否かを検定するものである。帰無仮説は「二者の推定に差異がない」であり、当該仮説は棄却されるべきである。

検定の結果、F値は8270となり、当該仮説は棄却された。

(3) Wald検定

航空経路選択モデルにおける説明変数のうち総運賃を、SABREデータの航空運賃に換えてパラメタ推計を行い、内生変数の有無を検定するものである。帰無仮説は「全て

の変数は外生変数」であり、当該仮説は棄却されるべきである。

検定の結果、F値は2771（自由度12）となり、当該仮説は棄却された。

(4) 小括

(1)～(3)の結果、操作変数法の採用は、いずれも支持された。

3.3 現況再現性

運賃関数、航空経路選択モデル及び分布交通量モデルの現況再現性を確認するため、モデルによる推定値及び実績を比較した。運賃関数の現況再現結果を図-3に、航空経路選択モデルの現況再現結果を図-4に、分布交通量モデルの現況再現結果を図-5に示す。いずれの図も、プラスが過大推計、マイナスが過小推計を表す。

運賃関数については、全体的に程良く推計されているものと思料される。航空経路選択モデルについては、誤差項の寄与度が大きく、尚改善の余地がある。分布交通量モデルについては、需要の実績が小さいODについて過大推計の傾向が見られる。

また、表-4は乗継による旅客をその出発国及びハブ空港毎に集計し、実績値と比較したものである。ただし、航空経路選択モデルの再現性検証に着目するため、分布交通量の推計誤差を解消する必要がある。このため、分布交通量の実績値を推計値で除した補正係数をOD毎に算定し、直行便による旅客を含めた分布交通量の現況が現在に再現できる形として用いる。

成田（NRT）において約42万人の過小推計、台北（TPE）において約27万人の過小推計、香港（HKG）で約27万人の過大推計、仁川（ICN）において約11万人の過小推計となっており、乗継経路全体でみると約59万人の過小推計となっており、尚改善の余地が大きい。この要因の一つとしては、乗継経路の交通利便性の過小評価が考えられる。特に成田については、外国キャリアを中心に、アジア及び北米からの到着便を15時～16時台に集中させるとともに、アジア及び北米への出発便を17～18時台に集中させ、国際客の乗継利便性が高い運用を行っているが、こうした要素は週便数を説明変数とする航空経路選択モデルでは表現することができない。説明変数の選択も含め、モデルの更なる改善が必要である。

4. おわりに

本研究において構築したモデルについて、航空需要予測手法としての観点からは、特に航空経路選択モデルに

ついて推定精度等に尚課題があり、政策実務に直ちに適用することは困難と言える。しかしながら、本研究で構築を試みた国際航空トランジットモデルは、現行の原単位法に基づく予測手法では評価することができないよう

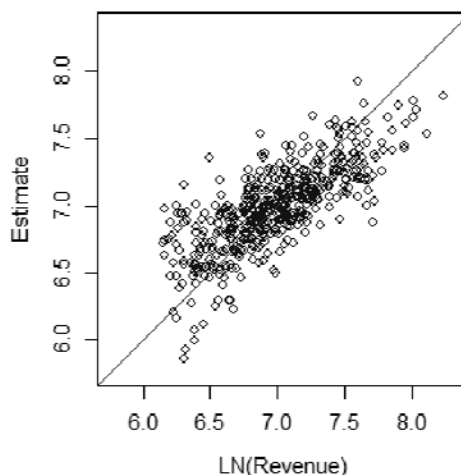


図-3 運賃関数の再現性

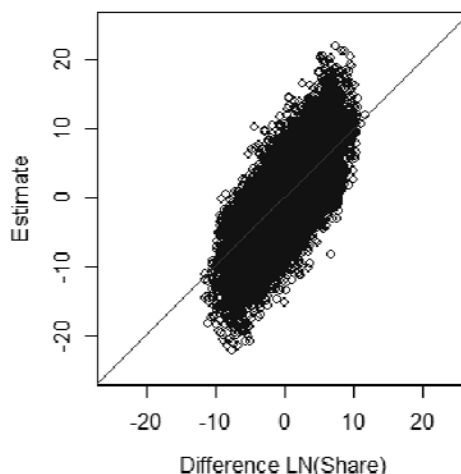


図-4 航空経路選択モデルの再現性

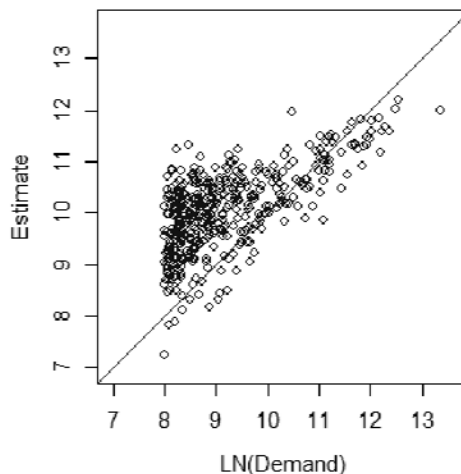


図-5 分布交通量モデルの再現性

表-4 航空経路選択モデルの再現性（出発国及び乗継空港別集計）

	China CAN	China PEK	China PVG	Hong Kong HKG	Japan HND	Japan KIX
Bangladesh	-706	344	-170	2,014	88	0
Cambodia	122	24	782	7,144	76	109
China	-9,939	-35,610	-28,094	-18,472	-4,233	6,332
Hong Kong	-1,510	-15,122	-8,928	0	-1,770	947
India	-8,306	-11,442	-14,993	69,172	732	1,828
Indonesia	660	1,144	557	8,055	1,162	1,075
Japan	-1,355	-2,085	-3,975	-2,135	-17,388	-1,312
Malaysia	-1,320	450	1,241	1,191	177	238
Mongolia	0	2,357	16	107	0	261
Myanmar	-10	332	144	3,324	121	-397
Nepal	-215	13	-669	2,451	7	0
Philippines	-7,047	9,798	-205	79,762	779	7,545
Singapore	989	10,706	29,285	-14,136	4,093	10,363
South Korea	-2,166	-2,443	-2,287	-4,206	-1,345	6,293
Sri Lanka	56	0	-12	538	2	0
Taiwan	-2,661	2,224	5,527	-10,101	456	-12,746
Thailand	-1,271	26,337	20,283	26,621	5,848	15,711
Vietnam	-1,077	1,800	8,628	119,076	3,119	5,785
Total	-35,756	-11,173	7,133	270,404	-8,075	42,032

	Japan NGO	Japan NRT	South Korea ICN	Taiwan TPE	Total
Bangladesh	0	-1,814	244	0	0
Cambodia	0	735	683	-9,674	0
China	71	-19,788	-22,059	-1,609	-133,400
Hong Kong	-233	-55,183	-39,114	-39,398	-160,310
India	0	-4,607	-21,370	-11,013	0
Indonesia	-1	13,051	5,171	-30,875	0
Japan	-3,407	-38,894	-33,210	-3,663	-107,423
Malaysia	0	-21	-149	-1,808	0
Mongolia	0	-464	-2,277	0	0
Myanmar	0	1,468	-61	-4,921	0
Nepal	0	-305	-1,455	172	0
Philippines	-41,330	-41,719	10,482	-18,065	0
Singapore	10	-52,037	-936	11,664	0
South Korea	-699	-83,567	854	-6,139	-95,706
Sri Lanka	0	-838	264	-11	0
Taiwan	48	-74,002	4,511	-5,894	-92,637
Thailand	73	-65,755	2,695	-30,542	0
Vietnam	-59	-595	-18,013	-118,664	0
Total	-45,526	-424,336	-113,740	-270,439	-589,476

な、運航路線及び運航頻度といった国際航空ネットワークの態様の変化による、本邦の国際航空需要への影響も分析可能である。感度分析によるモデル特性の把握分析等により、モデルに組み込むべき説明変数の再検討等、モデルの更なる改善に取り組む所存である。

(2015年11月16日受付)

謝辞

本研究の実施にあたり、株式会社三菱総合研究所の磯野文暁氏、エム・アール・アイリサーチアソシエイツ株式会社の菊池光貴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。

参考文献

井上岳・小野正博(2014)：国際トランジットの実態に関する資料集，国土技術政策総合研究所資料No. 785

- 国土技術政策総合研究所(2007)：航空需要予測について
第II編 航空需要予測モデルの改善 (2. 国際航空旅客需要予測手法)
<http://www.ysk.nilim.go.jp/kakubu/kukou/keika/ku/juyou1.html>
- 丹生清輝(2010)：国内航空の運賃に関する分析，国土技術政策総合研究所資料No. 612
- 丹生清輝・磯野文暁・大石礎(2011)：国内航空の運賃に関する分析，土木計画学研究・講演集Vol. 44, CD-ROM.
- 山田幸宏・井上岳・小野正博(2014)：路線別国際航空旅客数の推定方法，国土技術政策総合研究所資料No. 786
- Hsiao, C. Y. and Hansen, M. (2011): A passenger demand model for air transportation in a hub-and-spoke network, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47(6), pp. 1112-1125
- Mumbower, S., Laurie A. G., and Matthew J. H. (2014): Estimating flight-level price elasticities using online airline data: A first step toward integrating pricing, demand, and revenue optimization, *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 66, pp. 196-212

付録A 本研究におけるゾーニング

表 A-1 アジアのODゾーン

SID	Airport	AirportName	Country	Region	latitude	longitude
1	BKK	Bangkok	Thailand	Asia	13.6925	100.7500
2	BLR	Bangalore	India	Asia	12.9497	77.6681
3	BOM	Mumbai	India	Asia	19.0886	72.8681
4	CAN	Guangzhou	China	Asia	23.3925	113.2989
5	CCU	Kolkata	India	Asia	22.6547	88.4467
6	CEB	Cebu	Philippines	Asia	10.3075	123.9794
7	CGK	Jakarta	Indonesia	Asia	-6.1256	106.6558
8	CGO	Zhengzhou	China	Asia	34.5192	113.8406
9	CKG	Chongqing	China	Asia	29.7192	106.6417
10	CMB	Colombo	Sri Lanka	Asia	7.1811	79.8836
11	CSX	Changsha	China	Asia	28.1967	113.2208
12	CTS	Sapporo	Japan	Asia	42.7752	141.6923
13	CTU	Chengdu	China	Asia	30.5783	103.9469
14	DAC	Dhaka	Bangladesh	Asia	23.8433	90.3978
15	DEL	Delhi	India	Asia	28.5664	77.1031
16	DLC	Dalian	China	Asia	38.9656	121.5383
17	DPS	Denpasar Bali	Indonesia	Asia	-8.7481	115.1675
18	FOC	Fuzhou	China	Asia	25.9350	119.6631
19	FUK	Fukuoka	Japan	Asia	33.5859	130.4507
20	GMP	Seoul	South Korea	Asia	37.5581	126.7906
21	HAN	Hanoi	Vietnam	Asia	21.2211	105.8072
22	HGH	Hangzhou	China	Asia	30.2294	120.4344
23	HKG	Hong Kong	Hong Kong	Asia	22.3089	113.9147
24	HND	Tokyo	Japan	Asia	35.5523	139.7797
25	HYD	Hyderabad	India	Asia	17.4522	78.4611
26	ICN	Seoul	South Korea	Asia	37.4689	126.4503
27	ITM	Osaka	Japan	Asia	34.7855	135.4382
28	KHH	Kaohsiung	Taiwan	Asia	22.5772	120.3425
29	KIJ	Niigata	Japan	Asia	37.5711	139.0646
30	KIX	Osaka	Japan	Asia	34.4347	135.2442
31	KMG	Kunming	China	Asia	24.9922	102.7433
32	KMQ	Komatsu	Japan	Asia	36.3946	136.4065
33	KTM	Kathmandu	Nepal	Asia	27.6964	85.3592
34	KUL	Kuala Lumpur	Malaysia	Asia	2.7433	101.6981
35	MAA	Chennai	India	Asia	12.9942	80.1803
36	MNL	Manila	Philippines	Asia	14.5086	121.0194
37	NGO	Nagoya	Japan	Asia	34.8584	136.8054
38	NRT	Tokyo	Japan	Asia	35.7647	140.3864
39	OKA	Okinawa	Japan	Asia	26.1958	127.6459
40	OKJ	Okayama	Japan	Asia	34.7569	133.8553
41	PEK	Beijing	China	Asia	40.0800	116.5847
42	PEN	Penang	Malaysia	Asia	5.2972	100.2767
43	PNH	Phnom Penh	Cambodia	Asia	11.5467	104.8442
44	PUS	Busan	South Korea	Asia	35.1794	128.9381
45	PVG	Shanghai	China	Asia	31.1433	121.8050
46	RGN	Yangon	Myanmar (Burma)	Asia	16.9072	96.1331
47	SDJ	Sendai	Japan	Asia	38.1397	140.9169
48	SGN	Ho Chi Minh City	Vietnam	Asia	10.8189	106.6519
49	SHA	Shanghai	China	Asia	31.1978	121.3386
50	SHE	Shenyang	China	Asia	41.6397	123.4833
51	SIN	Singapore	Singapore	Asia	1.3500	103.9942
52	SUB	Surabaya	Indonesia	Asia	-7.3797	112.7867
53	TAO	Qingdao	China	Asia	36.2658	120.3742
54	TPE	Taipei	Taiwan	Asia	25.0775	121.2328
55	TSN	Tianjin	China	Asia	39.1242	117.3461
56	ULN	Ulaanbaatar	Mongolia	Asia	47.8431	106.7664
57	WNZ	Wenzhou	China	Asia	27.9158	120.8481
58	WUH	Wuhan	China	Asia	30.7836	114.2081
59	XIY	Xian	China	Asia	34.4472	108.7517
60	XMN	Xiamen	China	Asia	24.5439	118.1275

表 A-2 北米の OD ゾーン

SID	Airport	AirportName	Country	Region	latitude	longitude
61	ATL	Atlanta	United States	North America	33.6367	-84.4281
62	BOS	Boston	United States	North America	42.3643	-71.0052
63	DEN	Denver	United States	North America	39.8617	-104.6732
64	DFW	Dallas	United States	North America	32.8968	-97.0380
65	DTW	Detroit	United States	North America	42.2125	-83.3533
66	EWR	New York	United States	North America	40.6925	-74.1687
67	HNL	Honolulu	United States	North America	21.3186	-157.9222
68	IAD	Washington	United States	North America	38.9444	-77.4558
69	IAH	Houston	United States	North America	29.9844	-95.3414
70	JFK	New York	United States	North America	40.6397	-73.7789
71	LAS	Las Vegas	United States	North America	36.0801	-115.1523
72	LAX	Los Angeles	United States	North America	33.9425	-118.4081
73	MSP	Minneapolis	United States	North America	44.8820	-93.2218
74	ORD	Chicago	United States	North America	41.9786	-87.9047
75	PDX	Portland	United States	North America	45.5887	-122.5975
76	SEA	Seattle	United States	North America	47.4489	-122.3094
77	SFO	San Francisco	United States	North America	37.6189	-122.3750
78	YEG	Edmonton	Canada	North America	53.3097	-113.5797
79	YUL	Montreal	Canada	North America	45.4706	-73.7408
80	YVR	Vancouver	Canada	North America	49.1939	-123.1844
81	YYC	Calgary	Canada	North America	51.1139	-114.0203
82	YYZ	Toronto	Canada	North America	43.6772	-79.6306
83	MIA	Miami	United States	North America	25.7933	-80.2906
84	DCA	Washington	United States	North America	38.8521	-77.0377
85	MCO	Orlando	United States	North America	28.4294	-81.3089
86	PHX	Phoenix	United States	North America	33.4343	-112.0116
87	SAN	San Diego	United States	North America	32.7336	-117.1897
88	SLC	Salt Lake City	United States	North America	40.7884	-111.9778
89	YOW	Ottawa	Canada	North America	45.3225	-75.6692
90	KOA	Kona	United States	North America	19.7388	-156.0456
91	AUS	Austin	United States	North America	30.1945	-97.6699
92	BNA	Nashville	United States	North America	36.1245	-86.6782
93	BWI	Baltimore	United States	North America	39.1754	-76.6683
94	CMH	Columbus	United States	North America	39.9980	-82.8919
95	IND	Indianapolis	United States	North America	39.7172	-86.2944
96	LGA	New York	United States	North America	40.7773	-73.8726
97	MCI	Kansas City	United States	North America	39.2975	-94.7139
98	OGG	Kahului	United States	North America	20.8987	-156.4305
99	PHL	Philadelphia	United States	North America	39.8719	-75.2411
100	PIT	Pittsburgh	United States	North America	40.4915	-80.2329
101	RDU	Raleigh/Durham	United States	North America	35.8778	-78.7875
102	SAT	San Antonio	United States	North America	29.5337	-98.4698
103	STL	Saint Louis	United States	North America	38.7487	-90.3700
104	ANC	Anchorage	United States	North America	61.1744	-149.9964
105	FLL	Fort Lauderdale	United States	North America	26.0726	-80.1528
106	JAX	Jacksonville	United States	North America	30.4941	-81.6879
107	MSY	New Orleans	United States	North America	29.9934	-90.2580
108	ORF	Norfolk	United States	North America	36.8947	-76.2011
109	TPA	Tampa	United States	North America	27.9755	-82.5333
110	YWG	Winnipeg	Canada	North America	49.9100	-97.2399
111	CLE	Cleveland	United States	North America	41.4117	-81.8498
112	CLT	Charlotte	United States	North America	35.2140	-80.9431
113	CVG	Cincinnati	United States	North America	39.0488	-84.6678
114	DAY	Dayton	United States	North America	39.9024	-84.2194
115	FAI	Fairbanks	United States	North America	64.8151	-147.8563
116	ITO	Hilo	United States	North America	19.7214	-155.0485
117	SJC	San Jose	United States	North America	37.3628	-121.9292
118	YXY	Whitehorse	Canada	North America	60.7096	-135.0673
119	YYJ	Victoria	Canada	North America	48.6469	-123.4258
120	YZF	Yellowknife	Canada	North America	62.4628	-114.4403
121	BUF	Buffalo	United States	North America	42.9405	-78.7322

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 902 March 2016

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:046-844-5019