

## 国際航空旅客需要に関する統合型予測モデルの開発 Integrated Forecasting Model for International Air Travel Demand

古市正彦\*・Frank S. Koppelman\*\*

By Masahiko FURUICHI・Frank S. KOPPELMAN

This paper formulates and estimates an integrated forecasting model for international air travel demand; a trip generation model including a "composite variable" through a nested logit model of departure airport and destination choice. The integrated model provides an international air travel demand forecasting tool; i) departure airport choice model for which alternative airports are prepared for each destination considering a flight network limitation, ii) destination choice model including a "logsum variable" combining level of service variables of access and line-haul travel, and iii) trip generation model including the "composite variable" combining a destination attraction variable and the "logsum variable". A case study of the integrated model shows a successful agreement between predicted and observed flows.

### 1. はじめに

空港整備に携わる者にとっては国際空港整備の基礎情報として、一方、航空各社にとっては新規路線等の採算性の検討に当たって国際航空旅客の需要予測は極めて重要な情報である。

まず、前者にとっては、マクロ情報として i) 国際航空旅客の総需要、また、ミクロ情報として ii) 空港配置計画や空港アクセス交通計画の基礎となる国際航空旅客の出発空港選択行動分析が特に重要である。一方、後者にとっては、ミクロ情報として iii) 運賃、飛行時間、フライト頻度などの路線のサービス水準に応じた路線別の需要予測が必要不可欠であると同時に、iv) 新しい観光地の開拓等の基礎となる国際観光旅客の目的地選択行動分析も重要である。これらに関する研究はこれまでにいくつか行われてきているが、未だ実務者の使用に耐える方法は確立されていない。

一方、分析手法に目を向ければ、非集計モデルによる多次元選択行動分析に関する総合的な議論が、Ben-Akiva<sup>1)</sup>及びMcFadden<sup>2)</sup>によってなされ  
キーワード：発生交通、目的地選択、空港選択、Nested

Logit Model

\*正会員 工修 運輸省港湾技術研究所 企画課長

\*\*Ph.D. Professor Northwestern University

ている。そのなかで、多次元選択の選択肢の全ての組み合わせを選択肢とした Joint Logit Model はその選択肢の数が多くなり過ぎることなどの実用上の問題点が指摘されている。他方、多次元選択に階層構造を仮定することにより Joint Logit Model の自由度を緩和した Nested Logit Model は選択肢の数を抑えられるなど、階層的な選択構造の仮定さえ適切であれば、その実用上の価値は高い。

そこで、本研究では実用的かつ簡便で説明力の高い国際航空旅客需要に関する統合型予測モデルの開発とその有効性の実証を試みる。本研究で提案するモデルは i) 出発空港選択モデル、ii) 目的地選択モデル、iii) 発生原単位モデルから成り、3段階の階層構造を持つ。第1及び第2段階を構成する出発空港選択及び目的地選択については、「出発空港の選択は目的地の選択のもとで意思決定される」という階層的な選択構造を仮定し、非集計 Nested Logit Model を適用した。第3段階では Nested Logit Model 推定の過程で算出された "logsum" 変数を利用して算出される LOS 変数を導入することにより、アクセス交通やラインホール交通のサービス水準の向上によって誘発される潜在需要の算定が可能な発生原単位モデルを開発した。

## 2. 既存研究のレビュー

### (1) 総需要予測に関する研究

Kanafani et al. 3), 4) が、米国の比較的距離の短い国内線の路線別需要予測についてモデル構築を試み、ついで、米国の国際線の需要予測を類型化した路線グループ毎にモデル構築を試みている。同様に、森地ら<sup>5)</sup>が、ロードファクターを用いて、供給量を考慮した需要予測モデルを日本国内の類型化した路線グループ毎に構築している。

一方、総需要を対象としたマクロモデルに関しては森川ら<sup>6)</sup>が Diffusion モデルの適用を試みるなどいくつかの研究例があるが、いずれのモデルも新空港の開設、新規路線の開設、アクセス交通の改善等のサービス水準をモデルに取り込んでいないため、政策の感度分析を行えないという問題を抱えている。このなかにあつて、Morichi et al. 7) は出発空港選択に関する集計 Logit Model の推定結果から疑似的な "logsum" 変数を算出し、これをフライトの頻度の高い出発空港へのアクセシビリティとして、発生量モデルに導入していることは注目値する。

### (2) 出発空港選択行動に関する研究

この分野に関しては、比較的多くの研究がなされている<sup>8), 9), 10), 11), 12)</sup>。代表的なものとしては、米国西海岸における複数の空港が出発空港として利用可能な地域での出発空港選択行動を非集計ロジットモデルで分析したHarvey<sup>9)</sup>の研究がある。また、Furuichi<sup>12)</sup>は、出発空港の選択は目的地の選択の下に意志決定されるという階層構造を仮定し、目的地毎に利用可能な出発空港を選択肢としてチョイスセットを設定した非集計行動分析を提案している。

### (3) 路線別の需要予測に関する研究

米国においては、1980年代の規制緩和に伴い、航空ネットワークのハブ化が進んだ。ハブ化が意味するものは、ハブ空港を経由することにより所要時間は増大するが、フライトの頻度も増加することから、これらに運賃も加えた各種サービス水準の組み合わせが増大し、消費者にとっては選択の幅が広がったことである。一方、航空会社にと

っては、機材や乗務員等の限られた資源のなかで最大の利益をあげる路線ネットワーク作りが会社の命運を左右するため、このような供給面からの研究が数多くなされた。これらの研究の多くはサービス水準と需要の関係をおおまかな近似によって設定し、むしろネットワークの最適化問題に焦点を絞っている。

例えば、代表的な例としてKanafani et al. 13) による研究では、直行便とハブ空港経由便の選択行動を出発空港から目的空港までの経路選択行動として捉え、この問題に需要面から取り組んでいる。

### (4) 国際観光旅客の目的地選択行動分析に関する研究

観光交通の目的地選択行動については、目的地までの経路選択や交通機関選択とも合わせてこれまでいくつかの研究がなされている<sup>14), 15)</sup>。国際航空旅客に関してはOum et al. 16) が、カナダへの日本人観光旅客のカナダ国内での目的地選択行動について非集計行動分析を行っている。しかしデータの制約等の理由から、交通条件等に関するサービス水準変数は一切導入されておらず、個人属性によるマーケットセグメントの分析にとどまっている。一方、Furuichi<sup>17)</sup>は、国際航空旅客の出発空港の選択は目的地選択の下になされているという階層的な選択構造を仮定し、目的地までの交通条件等に関するサービス水準を "logsum" 変数として導入した目的地選択と出発空港選択のNested Logit Model を構築している。

## 3. 航空旅客の選択行動プロセス

国際航空旅客の出発空港に関する空港間シェアは、利用可能な空港のアクセス交通サービス、フライトスケジュール、空港ターミナルのサービス水準等に基づく競争の結果として捉えることができる。一方、消費者行動分析の観点から見ると、各個人がそのトリップに関する効用を最大にする選択肢を選択していると理解することができる。図-1に示した国際航空旅客行動の選択構造は、Harvey<sup>9)</sup>が示したものを著者らが修正したものである。選択行動の階層構造を構成する主要な段階は

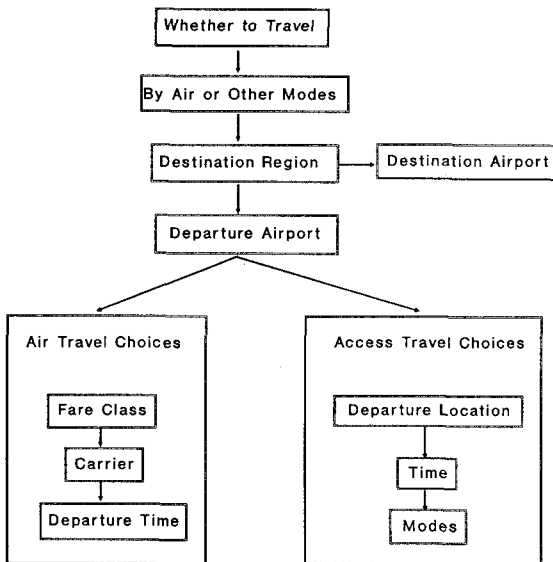


Figure 1 A possible air travelers' choice structure

以下のとおりである。

- i) 旅行するか否か
- ii) モード選択 (航空機を利用するか)
- iii) 目的地選択 (目的空港選択を含む)
- iv) 出発空港選択
- v) 航空機によるラインホール交通に関する選択  
(料金クラス, 航空会社, 出発時間等の選択)
- vi) アクセス交通に関する選択  
(出発地, 出発時間, アクセスモード等の選択)

本論文で扱う国際航空旅客の選択行動は、これらの段階のうち主要な、i) 出発空港の選択、ii) 目的地の選択、iii) 交通発生の選択の3段階であり、図-1のプロセスの中心的な部分に位置付けられるものである。そこで、これら主要な3段階の選択行動を表現できるモデルを統合型モデルと呼び、以下にモデルの定式化を行う。

#### 4. 統合型モデルの定式化

著者らは、3. で述べたように国際航空旅客の出発空港の選択、目的地の選択、交通発生の選択

を階層的な選択構造のなかで捉え、Nested Logit Model を適用した。ここではその定式化を具体的に示す。

##### (1) 出発空港選択モデル

個人  $i$  の出発空港  $j$  及び目的地  $k$  の組合せ  $(j, k)$  に対する効用を以下のように定義する。

$$U_{jk}^i = V_j^i + V_k^i + V_{jk}^i + \varepsilon_j^i + \varepsilon_{jk}^i, \forall (j, k) \in C^i \quad (1)$$

ここに、

$V_j^i, V_k^i, V_{jk}^i$ : 効用の確定項

$\varepsilon_j^i, \varepsilon_{jk}^i$ : 効用の確率項

$C^i$ : 個人  $i$  の選択肢集合

個人  $i$  が目的地  $k$  を選択した条件のもとで出発空港  $j$  を選ぶ条件付き確率  $P^i(j/k)$  は式 (2) で表される。このとき、 $V_j^i$  は個人  $i$  に対する出発空港  $j$  までのアクセス交通属性を、また  $V_{jk}^i$  は個人  $i$  に対する出発空港  $j$  から目的地  $k$  までのラインホール交通属性を表している。

$$P^i(j/k) = \frac{\exp\{(V_j^i + V_{jk}^i) \cdot \mu_j\}}{\sum_j \exp\{(V_j^i + V_{jk}^i) \cdot \mu_j\}} \quad (2)$$

ここで、 $\mu_j$  は Nested Logit Model のスケールパラメータであり、 $1/\mu_j$  の値は 0 から 1 の間に入っていないといけない。  $1/\mu_j = 0$  は、出発空港選択が目的地選択の影響を全く受けていないことを示しており、選択行動の階層構造の仮定が不適切であったことを示す。また、 $1/\mu_j = 1$  は、推定された Nested Logit Model が Joint Logit Model と全く一致していることを示す。

##### (2) 目的地選択モデル

一方、個人  $i$  が目的地  $k$  を選択する確率  $P^i(k)$  は式 (3) で表される。

$$P^i(k) = \frac{\exp(V_k^i + \frac{1}{\mu_j} \cdot \Gamma_k^i)}{\sum_k \exp(V_k^i + \frac{1}{\mu_j} \cdot \Gamma_k^i)} \quad (3)$$

ここに,

$$\Gamma_k^i = \ln \sum_j \exp \left\{ (V_j^i + V_{jk}^i) \cdot \mu_j \right\} \quad (4)$$

このとき,  $V_k^i$  は個人  $i$  に対する目的地  $k$  の魅力度に関する属性を表す. また,  $\Gamma_k^i$  は "logsum" 変数として知られており, 個人  $i$  のある目的地  $k$  に対する全ての出発空港  $j$  の期待最大効用値を表して

いる. 言い換えれば  $V_j^i$ ,  $V_{jk}^i$  はそれぞれアクセス交通属性及びラインホール交通属性なので,  $\Gamma_k^i$  は出発空港  $j$  を経由して目的地  $k$  までの総合的なアクセスのし易さを表現していると言える.

この結果, 個人  $i$  が出発空港  $j$  と目的地  $k$  の組合せ  $(j, k)$  を選択する確率は式 (5) で表される.

$$P^i(j, k) = P^i(j/k) \cdot P^i(k) \quad (5)$$

(3) 発生交通原単位モデル

Kanafani et al. 3) は, 路線別需要の発生量に関するモデルをグラビティモデルの発展形として提案し, 関数形及び導入すべき変数等について事例研究を行っている. 著者らは, 利用可能な集計ベースのデータを基に, ここまで行ってきた非集計ベースの分析結果を有効に活用する方法として, その関数形をさらに整理した発生原単位モデルを以下に提案する. 都道府県などの地域  $I$  における海外旅行者数を  $T_I$  とすると, 人口一人当りの海外旅行者発生原単位は, 式 (6) で表される.

$$\frac{T_I}{POP_I} = \alpha \cdot \prod_n \left\{ (PTN_{In})^{\beta_n} \right\} \cdot (LOS_I)^\lambda \quad (6)$$

ここに,

$POP_I$ : 地域  $I$  の人口

$\alpha, \beta, \lambda$ : パラメータ

$PTN_{In}$ : 地域  $I$  のポテンシャルを表す  $n$  番目の変数

$$LOS_I = \sum_k \left( V_k^I + \frac{1}{\mu_j} \cdot \Gamma_k^I \right) \quad (7)$$

$V_k^I$  は地域  $I$  に対する目的地  $k$  の魅力度に関する属性であり, また,  $\Gamma_k^I$  は地域  $I$  に対するある目的地  $k$  への総合的なアクセスのし易さを表す指標である

ことから,  $LOS_I$  変数はこれらを総合的に合成した変数と解釈できる. また, このモデルの特長はアクセス交通やラインホール交通のサービス水準の改善による潜在需要の誘発量を表現できることであり, Morichi et al. 7) によって提案されたアイデアを発展させたものである.

## 5. 事例研究

運輸省は2年に一度の割合で大規模な国際航空旅客動態調査を行っている. 同調査は, ピーク時(8月)及びオフピーク時(11月)の2回, それぞれ2週間にわたって平均3.9%のサンプリング率(1989年の実績)で実施されており, 国際航空旅客の個人行動をかなり詳細に把握した貴重なデータである. 本研究では1989年に実施された調査データを基に4.で述べた3段階のモデル推定を行う. 有効サンプル数は12,544であったが, 観光目的及び業務目的の旅客合わせて11,066サンプル(観光目的: 8,088, 業務目的: 2,978)を対象に目的地選択モデルを推定した. さらに, 出発空港を主要な4空港(成田, 大阪, 名古屋, 福岡)に絞る等のスクリーニングを行った結果, 6,688サンプル(観光目的: 5,051, 業務目的: 1,617)を対象に出発空港選択モデルを推定した. モデル推定に用いた対象サンプルのO/D実績を表-1に示す.

(1) 出発空港選択モデル<sup>12)</sup>

出発空港選択モデルの効用関数に含まれるアクセス交通属性は, i)  $x_1$ : アクセス時間(分)及びii)  $x_2$ : アクセス費用(円)であり, 式(8)で表される.

$$V_j^i = \theta_1 x_1 + \theta_2 x_2 \quad (8)$$

また, 同効用関数に含まれるラインホール交通属性は, iii)  $x_3$ : ラインホール時間(分), iv)  $x_4$ : ラインホール費用(円), 及びv)  $x_5$ : フライトの相対頻度(基準化された無次元数)であり, 式

(9) で表される.

$$V_{jk}^i = \theta_3 x_3 + \theta_4 x_4 + \theta_5 x_5 \quad (9)$$

出発空港選択モデルの効用関数は, これら以外の

Tab. 1 Total and Selected Samples from Departure Airports to Destinations in the Dataset

| Destination          | Europe<br>Africa | Oceania | N and S<br>America | Hawaii | Guam<br>Saipan | Asia | China | Korea | Taiwan | Hong<br>Kong | Total |
|----------------------|------------------|---------|--------------------|--------|----------------|------|-------|-------|--------|--------------|-------|
| Dep. Airport         |                  |         |                    |        |                |      |       |       |        |              |       |
| (Pleasure Travelers) |                  |         |                    |        |                |      |       |       |        |              |       |
| 1. Narita            | 189              | 122     | 226                | 318    | 225            | 435  | 29    | 211   | 98     | 220          | 2073  |
| 2. Osaka             | 42               | ---     | 38                 | 387    | 69             | 241  | 34    | 219   | 164    | 158          | 1352  |
| 3. Nagoya            | ---              | 51      | 25                 | 66     | 198            | 132  | ---   | 210   | 67     | 201          | 950   |
| 4. Fukuoka           | ---              | 21      | ---                | ---    | 133            | 65   | 17    | 243   | 80     | 117          | 676   |
| selected samples     | 231              | 194     | 289                | 771    | 625            | 873  | 80    | 883   | 409    | 696          | 5051  |
| total samples        | 740              | 381     | 782                | 1019   | 696            | 1213 | 121   | 1446  | 820    | 870          | 8088  |
| (Business Travelers) |                  |         |                    |        |                |      |       |       |        |              |       |
| 1. Narita            | 70               | 15      | 87                 | 6      | 12             | 142  | 54    | 157   | 59     | 67           | 669   |
| 2. Osaka             | 15               | ---     | 22                 | 12     | 2              | 102  | 61    | 173   | 161    | 65           | 613   |
| 3. Nagoya            | ---              | 2       | 1                  | 0      | 6              | 13   | ---   | 40    | 14     | 10           | 86    |
| 4. Fukuoka           | ---              | 0       | ---                | ---    | 5              | 4    | 23    | 148   | 39     | 30           | 249   |
| selected samples     | 85               | 17      | 110                | 18     | 25             | 261  | 138   | 518   | 273    | 172          | 1617  |
| total samples        | 258              | 41      | 462                | 21     | 32             | 392  | 296   | 665   | 619    | 192          | 2978  |

数多くの変数を用いて、パラメータの統計的有意性や符号の論理性的の検討を行った結果特定されたものである。表-2にモデルの推定結果（ここに示されるパラメータは $\theta_j \cdot \mu_j$ ）を示す。観光交通及び業務交通のそれぞれについて推定したモデルの両者について全てのパラメータの符号の論理性は

正しく、また t- 検定の結果からも全ての変数が高度に有意であることがわかる。推定されたパラメータから計算される時間価値は、観光目的旅客のラインホール交通について7,320（円／時間）、アクセス交通について5,880（円／時間）である。一方、業務目的旅客のラインホール交通については5,100（円／時間）、アクセス交通については10,380（円／時間）である。これらは、直感的にはかなり高い値を示しているが、その理由としては、ラインホール交通費用は正規航空料金を用いてデータを作成したこと、またアクセス交通費用は最短時間を与えるモード（その多くは航空機）を利用する仮定を設けたこと、さらには交通費用と時間との多重共線性などが一因と考えられる。（2）目的地選択モデル<sup>17)</sup>

目的地選択モデルの効用関数に含まれる目的地 k の魅力度に関する属性は、vi)  $x_6: \ln$  (目的地と我が国との年間貿易額（円／年）) 及び vii)  $\Gamma_k^i: \log \text{sum}$  変数であり、式（10）で表される。

$$V_k^i = \theta_6 x_6 + \frac{1}{\mu_j} \cdot \Gamma_k^i \quad (10)$$

目的地選択モデルの効用関数は、これら以外のいくつかの変数を用いて、パラメータの統計的有意性や符号の論理性的の検討を行った結果特定された

Tab.2 Estimation Results of Departure Airport Choice

| Models                        |             |          |                    |          |
|-------------------------------|-------------|----------|--------------------|----------|
| Pleasure Travelers            |             |          | Business Travelers |          |
| Var.                          | Coefficient | (t-stat) | Coefficient        | (t-stat) |
| DOsk                          | 1.057       | (6.019)  | 1.485              | (5.352)  |
| DNgy                          | 1.803       | (9.252)  | 1.084              | (3.198)  |
| DFuk                          | 2.064       | (8.332)  | 2.143              | (4.864)  |
| $x_1$                         | -0.0190     | (-16.64) | -0.0196            | (-10.77) |
| $x_2$                         | -0.000194   | (-23.42) | -0.0001131         | (-10.32) |
| $x_3$                         | -0.00205    | (-3.800) | -0.00343           | (-3.396) |
| $x_4$                         | -0.0000168  | (-3.124) | -0.0000402         | (-2.882) |
| $x_5$                         | 6.164       | (15.63)  | 5.826              | (9.601)  |
| $\rho_0^{-2}$                 | 0.727 (K=8) |          | 0.648 (K=8)        |          |
| no. of<br>selected<br>samples |             | 5,051    |                    | 1,617    |

Tab.3 Estimation Results of Destination Choice Models

| Pleasure Travelers      |             |          | Business Travelers |          |
|-------------------------|-------------|----------|--------------------|----------|
| Var.                    | Coefficient | (t-stat) | Coefficient        | (t-stat) |
| Docn                    | 2.984       | (15.26)  | -1.213             | (-3.438) |
| Damr                    | -2.101      | (-12.24) | -3.462             | (-6.692) |
| Dhwi                    | 13.84       | (25.07)  | 1.626              | (2.192)  |
| Dasi                    | 0.9336      | (6.347)  | -2.477             | (-6.783) |
| Dkrtw                   | 2.074       | (10.57)  | -3.052             | (-6.515) |
| Dhngk                   | 3.884       | (17.34)  | -2.121             | (-7.273) |
| x <sub>6</sub>          | 2.535       | (26.55)  | 1.449              | (7.486)  |
| $\Gamma_k^i$            | 0.297       | (13.04)  | 0.355              | (8.651)  |
| combined $\bar{p}_0^2$  | 0.230       | (K=16)   | 0.269              | (K=16)   |
| no. of selected samples | 5,051       |          | 1,617              |          |
| no. of total samples    | 8,088       |          | 2,978              |          |

ものである。また、Nested Logit Model の推定には既存の統計パッケージを利用した段階推定を適用した。なお、総対象サンプル数からモデル推定に用いられたサンプル数の比率の違いについては、Manski et al.<sup>18)</sup> による重み付けを考慮したWESMLを適用して補正を行った。表-3 にモデルの推定結果を示す。ここで特筆すべきことは、推定されたスケールパラメータが、観光交通、業務交通のいづれのモデルについても [0, 1] の区間に入っており、Nested Logit Model の選択構造の階層化の仮定が適切であったことを示している。

(3) 発生原単位モデル

ここでは、前述のとおり個人ベースのデータをトリップを起こさなかった人についてまで収集することは極めて困難なことから、集計ベースのデータとして発生原単位を各都道府県別に知ることができる出入国管理統計を用いた。

発生原単位モデルに含まれる変数は、地域 I のポテンシャルを表す変数として i) Income: 地域 I の一人当たり年間所得 (円/年) 及び ii) LOS<sub>k</sub><sup>i</sup>: 目的地 k の魅力度と地域 I から目的地 k へのアクセシビリティを合成した変数、の 2 変数である。モデルの推定については、式 (6) の両辺の対数を

Tab. 4 Estimation Results of Trip Generation Models  
(t - statistics)

| Var. Name      | Pleasure Travelers |         | Business Travelers |         |
|----------------|--------------------|---------|--------------------|---------|
| ln( $\alpha$ ) | -47.8              | (-14.9) | -63.2              | (-6.82) |
| Income         | 2.14               | (7.08)  | 3.35               | (4.50)  |
| LOS            | 0.325              | (4.96)  | 0.522              | (3.07)  |
| no. of samples | 47                 |         | 47                 |         |
| $R^2$          | 0.8379             |         | 0.6032             |         |

とり、最小二乗法を適用して推定した。他の多くの変数についても検討したが、推定されたパラメータの統計的有意性や符号の論理性的の検討を行った結果棄却された。モデルの推定結果を表-4 に示す。推定された全てのパラメータの符号の論理性は正しく、また t-検定の結果からも全ての変数が有意であることがわかる。観光旅客に対するモデルの  $R^2$  は比較的良好な値を示しているが、業務交通に対するモデルの  $R^2$  は若干低めである。これは、国際観光旅客の発生頻度と個人の可処分所得との間に極めて強い正の因果関係が想像されるため、観光交通モデルに導入した変数 Income が同モデルに高い説明力をもたらしたのであろう。一方、業務交通モデルについては、旅行費用は通常雇用者によって負担されるため、国際業務旅客の発生頻度と個人の可処分所得との間に強い因果関係が認められないことが一因であろう。

(4) Nested Logit Model の予測力の検証

事例研究で推定された出発空港と目的地選択に関するNested Logit Model の予測力についてその再現性を検証する。モデル推定に用いたサンプルに対して Sample Enumeration 法を適用して出発空港から目的地までの O/D フローを推定する。ここで目的地選択モデルの推定に用いた総サンプル数を  $N^T$ 、出発空港選択モデルの推定に用いたサンプル数を  $N^S$ 、また、それぞれの目的地 k へのサンプル数を  $N_k^T$ 、 $N_k^S$  で表示すると、出発空港 j から目的地 k までの O/D フローの推定値  $\hat{N}_{jk}$  は式 (11) で表される。

Tab. 5 Predicted Flows from Departure Airports to Destinations with Sample Enumeration Method

| Destination          | Europe<br>Africa | Oceania<br>N and S<br>America | Hawaii | Guam<br>Saipan | Asia  | China | Korea | Taiwan | Hong<br>Kong | Total |        |
|----------------------|------------------|-------------------------------|--------|----------------|-------|-------|-------|--------|--------------|-------|--------|
| Dep. Airport         |                  |                               |        |                |       |       |       |        |              |       |        |
| (Pleasure Travelers) |                  |                               |        |                |       |       |       |        |              |       |        |
| 1. Narita            | 177.5            | 102.1                         | 215.5  | 343.7          | 228.1 | 420.0 | 35.0  | 233.7  | 102.7        | 237.8 | 2096.1 |
| 2. Osaka             | 50.4             | —                             | 51.6   | 340.0          | 65.6  | 248.7 | 28.4  | 239.0  | 142.8        | 142.8 | 1332.3 |
| 3. Nagoya            | —                | 73.5                          | 18.0   | 68.5           | 214.6 | 133.9 | —     | 192.9  | 69.7         | 170.1 | 941.2  |
| 4. Fukuoka           | —                | 17.4                          | —      | —              | 134.3 | 67.0  | 16.6  | 240.0  | 82.7         | 123.4 | 681.4  |
| Predicted flows      | 227.9            | 193.0                         | 285.1  | 752.2          | 642.6 | 869.6 | 80.0  | 905.6  | 397.9        | 697.1 | 5051.0 |
| (Business Travelers) |                  |                               |        |                |       |       |       |        |              |       |        |
| 1. Narita            | 68.6             | 11.8                          | 89.6   | 8.1            | 14.3  | 137.2 | 55.0  | 159.8  | 72.0         | 71.2  | 687.6  |
| 2. Osaka             | 13.9             | —                             | 16.7   | 9.4            | 2.4   | 93.7  | 54.0  | 203.0  | 144.6        | 63.5  | 601.2  |
| 3. Nagoya            | —                | 3.0                           | 0.1    | 0.2            | 4.9   | 14.5  | —     | 36.0   | 13.8         | 9.5   | 82.0   |
| 4. Fukuoka           | —                | 1.9                           | —      | —              | 3.3   | 12.0  | 28.6  | 126.4  | 46.1         | 27.9  | 246.2  |
| Predicted flows      | 82.5             | 16.7                          | 106.4  | 17.7           | 24.9  | 257.4 | 137.6 | 525.2  | 276.5        | 172.1 | 1617.0 |

$$\hat{N}_{jk} = \hat{N}_k^S \cdot \frac{1}{N_k^S} \sum_{i=1}^{N_k^S} P^i(j/k)$$

$$= \frac{N_k^S}{N_k^T} \sum_{i=1}^{N_k^T} P^i(k) \cdot \frac{1}{N_k^S} \sum_{i=1}^{N_k^S} P^i(j/k) \quad (11)$$

式(11)を用いて観光交通及び業務交通についてそれぞれ推定したO/Dフロー値を表-5に示す。この推定値は表-1に示した観測値とよく一致している。さらに $\chi^2$ 検定による適合度検定の結果、観光及び業務交通についてそれぞれ $\chi^2_{Pls} = 51.4$ 、 $\chi^2_{Biz} = 38.9$ が得られ、有意水準5%で本モデルの予測力が支持された。

## 6. おわりに

本研究では、実務者の使用に耐える国際航空旅客需要予測に関する統合型モデルを開発し、その有効性を示した。統合型モデルは、3段階の階層的選択構造（第一段階：出発空港の選択、第二段階：目的地の選択、第三段階：交通発生の選択）を仮定したものであるが、モデルの推定結果からこの仮定が適切であったことが実証された。3段階のモデルはそれぞれ以下のような特長を持つ。

第一段階の出発空港選択モデルでは、出発空港の選択は目的地選択の下に意志決定されると仮定

し、目的地毎に利用可能な出発空港を選択肢としてチョイスセットを設定した。これにより、航空ネットワークの制約の中で利用可能な選択肢を現実的に設定することに成功した。推定された出発空港選択モデルは極めて高い説明力を示した。

第二段階の目的地選択モデルは、第一段階の出発空港選択モデルと階層構造をなすNested Logit Modelである。提案された目的地選択モデルに含まれる"logsum"変数は、出発地から出発空港を経て目的地までの総合的なアクセスのし易さを表している。目的地選択モデルへの"logsum"変数の導入により、アクセス交通属性やラインホール交通属性を間接的に取り込むことが可能となった。また推定されたスケールパラメータは、0.3前後を示し[0, 1]の区間に入っていることから、Nested Logit Modelの階層構造の仮定が適切であったことが実証された。

第三段階の発生原単位モデルでは、これまでの二段階を構成したNested Logit Model推定の過程で算出された"logsum"変数を利用して算出されるLOS変数を導入することにより、アクセス交通やラインホール交通のサービス水準の向上によって誘発される潜在需要を算定することが可能となった。この結果、潜在需要を理論的な根拠をもって算出することができるようになった。

しかしながら、本研究で提案した統合型モデルにも今後解決すべき課題が残されている。まず、政策分析においては分析の対象となるシナリオに対してアクセス交通やラインホール交通に関するサービス水準を設定し、交通量の予測値を計算することになるが、現状維持のシナリオに対する予測値は必ずしも観測値に一致しない。このため、分析対象となるシナリオの影響による増加分あるいは減少分を正確に特定することが難しい。これを解決するためにはシナリオで設定したサービス水準の現状からの変化分を入力し、交通量に関する増加分あるいは減少分を出力することのできる Incremental Model を本研究で提案した統合型モデルに適用できるようにすることが今後望まれる。さらに、観光交通のマーケティング分析を行う場合には、目的地の魅力度を適切に表現する変数やマーケットセグメントの基礎となる個人属性をモデルに導入することが必要となろう。

最後に本研究を進めるに当たって、データを提供していただいた運輸省航空局、さらには貴重なコメントをいただいた北海道大学の五十嵐日出夫教授、室蘭工業大学の田村亨助教授、東京工業大学の屋井鉄雄助教授に感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) Ben-Akiva, M.: *Structure of Passenger Travel Demand Models*, Ph.D dissertation, Department of Civil Engineering, MIT, Cambridge, MA, 1973.
- 2) McFadden, D.: *Modelling The Choice of Residential Location*. In *Spatial Interaction Theory and Residential Location*. A. Karlquist et al., eds. North Holland, Amsterdam, 1978.
- 3) Kanafani, A. and Fan, S.: *Estimating the Demand for Short-haul Air Transport System*, *Transp. Res. Rec.* 526, 1974.
- 4) Kanafani, A. and Sadoulet, E.: *The Partitioning of Long-Haul Air Traffic - A Study on Multinomial Choice*, *Transp. Res.*, Vol.11, 1977.
- 5) 森地茂・屋井鉄雄・兵藤哲朗：供給制約を考慮した航空需要モデル，土木計画学研究・論文集 No.6, 1988.
- 6) 森川高行・村山杏子：Diffusion Model を用いた海外観光旅行者数の予測，土木計画学研究・講演集 No.15 (1), 1992.
- 7) Morichi, S. et. al.: *Air Transport Policy Analysis for Future Network in Japan*, *Selected Proceedings of 5th WCTR*, Yokohama, 1989.
- 8) Ashford, N. and Benchemam, M.: *Passengers' Choice of Airport*, *Transp. Res. Rec.* 1147, 1987.
- 9) Harvey, G.: *Airport Choice in a Multiple Airport Region*, *Transp. Res. A*, Vol. 21A, 1987.
- 10) 山本幸司・渡辺尚夫：名古屋空港航空旅客需要予測における空港利用率予測に関する研究，土木計画学研究・論文集 No.6, 1988.
- 11) Ozoka, A. I. and Ashford, N.: *Application of Disaggregate Modeling in Aviation Systems Planning in Nigeria*, *Transp. Res. Rec.* 1214, 1989.
- 12) Furuichi, M.: *Departure Airport Choice Behavior in a Multiple Airport System*, *Proceedings of Transp. Res. Forum 34th Annual Meeting*, St. Louis, 1992.
- 13) Kanafani, A. and Ghobrial, A.: *Airline Hubbing - Some Implications for Airport Economics*, *Transp. Res. A*, Vol.19A, No.1, 1985.
- 14) 森杉壽芳・平林泰久・平山賢二：集計 Nested Logit-Model による広域観光行動予測，土木計画学研究・講演集 No.8, 1986.
- 15) 森川高行他：定量的観光魅力度と選択肢集合の不確実性を考慮した観光的地選択分析，土木計画学研究・論文集 No.9, 1991.
- 16) Oum, T. H. and Lemire, N.: *An Analysis of Japanese International Travel Destination Choices*, *International Journal of Transport Economics*, Vol.XVII, No.3, 1991.
- 17) Furuichi, M. and Koppelman, F. S.: *An Analysis of Air Traveler's Departure Airport and Destination Choice Behavior*, *Transp. Res. B* (to be published).
- 18) Manski, C. and Lerman, S.: *The Estimation of Choice Probabilities from Choice-Based Samples*, *Econometrica* 45, 1977.