

国際航空旅客の空港間純流動の推計手法に関する研究

Estimation of Origin-Destination Matrix of International Air Passengers*

高田和幸**・和田飛鳥**・大井輝夫****・平田輝満****

By Kazuyuki TAKADA**・Asuka WADA**・Teruo OOI****・Terumitsu HIRATA****

1. 研究の背景と目的

国際空港や国際港湾の整備計画の立案に際しては、路線毎に区分した市場よりも、多くの路線を内包したネットワークで市場を取り扱うことが望ましい。その理由は、路線サービスの利用者の中には当路線で移動が終結しない利用者が多く含まれていること、また路線のサービス水準が、個々の路線で単独に決定されていないことである。

このことを踏まえて我が国の国際航空旅客の需要予測方法を検証してみると、旅客の経路選択行動が考慮されており、航空サービスをネットワークとして取り扱っているとも言える。しかしながら、例えば、現在成長著しい中国の国際航空旅客需要については、日本に直接関与する旅客(日本入国・出国、日本の空港でのトランジット旅客)のみを分析対象としており、日本内外のエアライン間や空港間の競争の影響を考慮する予測体系とはなっていない。分析対象が制限されている原因は、日本に直接関係のない旅客の需要を分析するには、追加的費用が発生すること、そして、そもそも国際航空旅客の実際のOD交通量を扱った統計データが存在しないことである。

ICAOは、チケットベースのOD(On Flight Origin and Destination, 以下OFODと記す)に関するデータを発行しているが、乗り継ぎ客が多く含まれる場合には、実際のOD旅客数と乖離するという問題があり、これを空港間ODとして扱うことは不可能である。また路線(リンク)毎の旅客数(Traffic by Flight Stage, 以下TFSと記す)の統計データも発行しているが、これも実際の旅客のODを表すものではない。さらに各空港(ノード)の出発旅客数や、乗り継ぎ前後で便名が変わらないダイレクトトランジットの旅客数(以下DTと記す)のデータ(Traffic)も発行している。このように断片的ではあるが、旅客流動に関する情報は入手可能な状況にある。

一方、国土交通省は「国際航空旅客動態調査」を毎年実

施し、特定地域における旅客流動を詳細に調査して、将来需要予測等に活用している。さらに、国土交通省は、現地機関と協力し、仁川、クアラルンプール、バンコクの3空港で、トランジット旅客を対象とした動態調査を実施し、トランジット旅客の特性の空港間比較に活用されている。なおこれらの調査では、我が国と同一の調査フォーマットを採用している。

上述した通り、旅客流動を把握可能なデータが以前に増して整備されている。そこで本研究では、それぞれが異なる趣旨で整備されている統計データを統合利用することによって、発着地ベースのOD旅客数を推計することを試みる。

なお本論では、自動車交通量を対象として技術開発が進んでいる断面交通量からOD交通量を推定する方法^{1)~5)}を応用することとした。

2. 空港間OD旅客数の推定方法について

路線*l*の旅客数の観測値をTFS_{*l*}、空港*a*におけるダイレクトトランジット旅客数の観測値をDT_{*a*}、さらに空港*i*と空港*j*間の航空券発券数の観測値をOFOD_{*ij*}とする。これらの観測値は全てICAOの統計に基づくものである。

ここで注意が必要なのは、OFOD_{*ij*}には、出発地、または目的地が空港*i, j*以外の旅客も含まれていることである。図-1に示すネットワーク内の移動(空港番号の小さい方から大きい方へ)を例にして、このことを確認する。表-1は、縦にOD、横に空港*i*と空港*j*間の路線で観測される旅客のタイプを表している。また各セルには、旅客がどのような航空券を購入しているか(下線で1枚の航空券を表している)を示している。例えば、*i*から*j*に移動する旅客の中には、*i*で同じ便名のフライトで乗り継ぐ旅客(DT)と異なる便名のフライトで乗り継ぐ旅客とがあり、前者は*i*と*j*を発着空港とする航空券を購入しているのに対し、後者は、*i*と*k*、*k*と*j*の2枚の航空券を購入していることを示している。これらの観測データを用いて、空港間のOD旅客数の推計を行う。

いま観測値TFS_{*l*}は測誤差ε_{*l*}¹を有していると考えられる。

そしてε_{*l*}¹が平均0、母分散共分散行列Σ_{TFS}の多変量正規分布に従うと仮定すると、TFSの密度関数は、

*キーワード: 国際航空旅客, 空港間OD旅客

** 東京電機大学

(埼玉県比企郡鳩山町石坂, TEL:049-296-2911)

*** パシフィックコンサルタンツ株式会社

**** (財)運輸政策研究機構

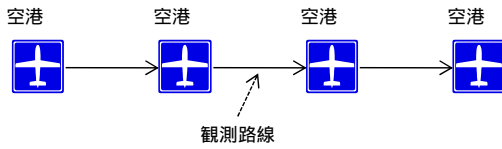


図 - 1 分析対象 OD と観測路線との関係

表 - 1 OD 別の航空券の種類

空港における状態 O-D	DF: 空港が 発地	DT: 空港で同 じ便名で乗 り継ぎ (立ち寄り)	nDT: 空港で異なる 便名で乗り継ぎ (乗り換え)
	---	---	---
	---	-	-
	---	-	-
	---	-	-
	-	---	---
	-	---	---
	-	---	---
	---	---	---

$$f_i(\mathbf{TFS}) = (2\pi)^{-\frac{L}{2}} |\Sigma_{TFS}|^{-\frac{1}{2}} \exp\left\{-\frac{1}{2}(\mathbf{TFS} - \mathbf{PX})^T \Sigma_{TFS}^{-1}(\mathbf{TFS} - \mathbf{PX})\right\}$$

($i=1,2,3,\dots,L$)となる。ここでPは OD 毎の路線利用確率、またXは未知の OD 旅客数である。

一方、チケットベースの od の観測値OFOD_{od}は、観測誤差 ϵ_{od}^2 を有していると考えられる。いま ϵ_{od}^2 が平均 0、母分散共分散行列 Σ_{OFOD} の多変量正規分布に従うと仮定すると、OFODの密度関数は、

$$f_j(\mathbf{OFOD}) = (2\pi)^{-\frac{M}{2}} |\Sigma_{OFOD}|^{-\frac{1}{2}} \exp\left\{-\frac{1}{2}(\mathbf{OFOD} - \mathbf{QX})^T \Sigma_{OFOD}^{-1}(\mathbf{OFOD} - \mathbf{QX})\right\}$$

($j=1,2,3,\dots,M$)となる。ここでQは OD 毎の航空券購入確率である。

また同様に、空港 a におけるダイレクトトランジット旅客の観測値DT_aは観測誤差 ϵ_a^3 を有していると考えられる。そして ϵ_a^3 が平均 0、母分散共分散行列 Σ_{DT} の多変量正規分布に従うと仮定すると、DTの密度関数は、

$$f_k(\mathbf{DT}) = (2\pi)^{-\frac{N}{2}} |\Sigma_{DT}|^{-\frac{1}{2}} \exp\left\{-\frac{1}{2}(\mathbf{DT} - \mathbf{R(X)})^T \Sigma_{DT}^{-1}(\mathbf{DT} - \mathbf{R(X)})\right\}$$

($k=1,2,3,\dots,N$)と書ける。ここでR(X)は、OD 交通量の推定値Xに基づいて推計されるダイレクトトランジット旅客数を表している。

これらの関係式を用いてTFS, OFOD, DTの同時生起確率に関する尤度(L)を求め、その対数をとると、以下の式となる。

$$\ln L = \ln \sum_{i=1}^L (2\pi)^{-\frac{L}{2}} |\Sigma_{TFS}|^{-\frac{1}{2}} \exp\left\{-\frac{1}{2}(\mathbf{TFS} - \mathbf{PX})^T \Sigma_{TFS}^{-1}(\mathbf{TFS} - \mathbf{PX})\right\} \\ + \ln \sum_{j=1}^M (2\pi)^{-\frac{M}{2}} |\Sigma_{OFOD}|^{-\frac{1}{2}} \exp\left\{-\frac{1}{2}(\mathbf{OFOD} - \mathbf{QX})^T \Sigma_{OFOD}^{-1}(\mathbf{OFOD} - \mathbf{QX})\right\} \\ + \ln \sum_{k=1}^N (2\pi)^{-\frac{N}{2}} |\Sigma_{DT}|^{-\frac{1}{2}} \exp\left\{-\frac{1}{2}(\mathbf{DT} - \mathbf{R(X)})^T \Sigma_{DT}^{-1}(\mathbf{DT} - \mathbf{R(X)})\right\}$$

この式の値を最大とするXを求めればよい。つまり、

$$\min_X (\mathbf{TFS} - \mathbf{PX})^T \Sigma_{TFS}^{-1}(\mathbf{TFS} - \mathbf{PX}) \\ + (\mathbf{OFOD} - \mathbf{QX})^T \Sigma_{OFOD}^{-1}(\mathbf{OFOD} - \mathbf{QX}) \\ + (\mathbf{DT} - \mathbf{R(X)})^T \Sigma_{DT}^{-1}(\mathbf{DT} - \mathbf{R(X)})$$

をXについて解けばよい。

なお、上式を解くには、P, Q, およびRが先決されていないなければならない。本研究では、前述した4カ国で実施された国際航空旅客動態調査のデータを用いて、国際旅客の経路選択行動モデルを推定し、OD 毎の利用経路確率、航空券購入確率などを求めることとした。

3. おわりに

本研究では、未だ研究の蓄積が多くない国際航空旅客の OD 交通量の推定を試みた。

対象 OD 数が増えると推定が困難となる可能性がある。そのため、求解のためのアルゴリズムを現在検討中である。なお、推定結果については講演時に発表することとしたい。

参考文献

- 1) Maher, M.J.: Inferences on Trip Matrices from Observations on Link Volumes: A Bayesian Statistical Approach, Transportation Research, 17B, pp.435-447, 1983.
- 2) Maher, M.J., X.Y. Zhang, and D.V. Vliet : A Bi-Level Programming Approach for Trip Matrix Estimation and Traffic Count Problems with Stochastic User Equilibrium Link Flows, Transportation Research, 35B, pp.23-40, 2001.
- 3) Lin Cheng, Yasunori Iida, Nobuhiro Uno, Wei Wang: Efficient Implementation of Bilevel Programming Model for Origin-Destination Estimation, Proceedings of Infrastructure Planning, JSCE, vol.28, 2003
- 4) 中山 晶一郎, 高山 純一: リンク交通量を用いた交通ネットワーク均衡モデルのパラメータ推定: リンク間相関を考慮した最尤法, 土木学会論文集D, vol.62, 4, pp.548-557, 2006.
- 5) Z. X.Wu · William H. K. Lam: Transit passenger origin-destination estimation in congested transit networks with elastic line frequencies, Annals of Operations Research, vol.144, 1, 2006.