

IV-37

複数空港システムのモデリング

北海道開発公社(外株)	正員	浦田 康滋
室蘭工業大学	学生員	○河崎 貴紀
室蘭工業大学	正員	田村 亨
苫小牧工業高等専門学校	正員	榎谷 有三人
室蘭工業大学	正員	斉藤 和夫

1. はじめに

最近、わが国の空港整備に関して「複数空港整備のあり方」に関わる議論が、盛んになされている。この内容は大きく2つある。1つは、国際ハブ空港に関わるものである。東アジアの近隣諸国で、4,000m級の複数滑走路を持つ巨大空港整備が計画・建設中であり、日本の国際ハブ機能が相対的に低下するのではないかという不安を背景としたものである。わが国では、新東京国際空港、平成6年9月に開港した関西新空港、そして、現在調査が進められている中部新空港による三極の国際空港整備が進められつつあるとも考えられるが、この様な複数空港の利用については、まだ十分な議論が尽くされていない。他の1つは、福岡を中心とした九州北部地域(福岡・北九州・新空港建設など)、札幌都市圏(丘珠・新千歳空港)、さらには近畿圏で構想されているびわこ空港・神戸空港など、広域都市圏に現存、或は計画中の複数空港の利用である。

これらの問題意識を踏まえて、本研究の目的は、従来の複数空港システムのモデル化について体系的に研究レビューするとともに、北海道の分析事例とのモデルパラメーター比較を行なう。さらに、空港位置を明示的に表わした複数空港モデルの概念を新たに提案するものである。特に、従来型の旅客(需要サイド)の空港選択モデルではなく、エアライン・空港整備担当者の各制御変数の効果を検討できるモデルについて議論を進めていることが、本研究の特徴である。このため、従来の運行頻度、運賃、空港アクセスなどを説明変数とするモデルとは異なり、航空市場における交通の質と量を積極的にモデルに導入している。

2. 複数空港システムのモデリングに関する研究レビュー

(1) 旅客サイドの空港選択モデル

従来の複数空港システムのモデルは、2つの種類に分類される。1つは旅客の選択に注目するもので、旅客の選択が空港によって供給されるサービス、空港へのアクセスのしやすさなどにより選択されると考える。これらの説明要因は、外生的に扱うため選択率の予測には、空港のサービス、アクセスの特性の予測値が必要である。他の1つのモデルは、フライトスケジュールを内生的に扱ったもので、これは予測時にモデルに要求される仮定を少なくできる点でより優れたものと言える。

最初の空港選択モデルは、1970年代のSkinnerによる旅客の空港選択を、非集計型モデルを適用して表わしたものである¹⁾。この説明変数には、空港の魅力、総所要時間、運行頻度、アクセスサービスが含まれていた。モデルは、バルチモア-ワシントン間を対象に構築され仕事目的とその他の目的の2つ作られている。もう1つのモデルは1977年、Kanafaniによる集計型モデル²⁾で、カリフォルニアコリドーを分析対象としたものである。これは、需要サイドからみたマーケットシェアモデルとして位置付けられるもので、2つの地域間の総需要のシェアを総所要時間と運行頻度を説明変数として表わす。1987年のHarveyによるモデル³⁾は、Skinner型のモデルであるが、総所要時間、運行頻度に非線形な関数を仮定していることと、空港のダミーを積極的に取り入れている点が異なる。もう1つ1987年の、Ashfordのモデル⁴⁾は運賃に関わる要因をも説明変数に入れていることが特徴であり、イギリスの国内航空旅客への

Modering Multiple Airport Systems

by Kouji URATA, Takatoshi KAWASAKI, Tohru TAMURA, Yuzo MASUYA and Kazuo SAITO

適用を行なったものである。表-1は、Skinner、K anafani、Harvey、そしてAshfordのモデルによる結果の比較である。HarveyとAshfordの研究による旅行時間の係数は、Skinnerによって得られた値のおよそ2倍である。これに比べて、運行頻度の係数はモデルによって大きく異なる。これは、旅客の選択の基本的な違いに加えて線形の頻度条件を与えていることに関係すると考えられている。すなわち、運行頻度の1単位の増加がもたらす選択率の変化は、その時の運行頻度によって異なるのである。

表-1 モデル推計結果

係数	$\theta=0$	$\theta=10^{-4}$	$\theta=10^{-3}$	$\theta=10^{-2}$	$\theta=10^{-1}$
α	0.7594 (.240)	0.7822 (.243)	0.8252 (.247)	0.4890 (.188)	0.1816 (.218)
β	0.0617 (.030)	0.0596 (.031)	0.0608 (.029)	0.1187 (.016)	0.1518 (.007)
$\psi(\min)$	-0.1026 (.002)	-0.1026 (.002)	-0.1027 (.002)	-0.1027 (.002)	-0.1025 (.002)
γ_{osk}	0.3398 (.052)	0.3478 (.053)	0.3988 (.061)	0.4750 (.057)	0.4535 (.207)
γ_{sjc}	-0.5194 (.072)	-0.5077 (.073)	-0.4378 (.086)	-0.3862 (.126)	-0.4352 (.228)
log likelihood	-4934.6	-4943.5	-4943.0	-4945.5	-4948.2
ρ^2	.4984	.4984	.4984	.4982	.4979

(2) 旅客のエアラインサイドの空港選択モデル

先に示した4つのモデルは、旅客の空港選択を表わしたものであるが、複数空港システムの構造を十分に取り入れていない。すなわち、需要者のみならず、サービス供給者(エアライン)の施策を考えた空港選択モデルが必要である。この最初のモデルは、実は、1973年、de NeufvilleとGelmanによって提案されている。具体的には、利用者の多い空港に、エアラインは機材を多く投入し、空港の容量制約がない限り、やがては、複数空港の需要はある1つの空港に集約される(1つしか使われない)、というものである⁵⁾。これは、S-カーブ効果(図-1)⁶⁾として有名であり、アメリカの航空規制緩和政策のとき運行頻度の少ない路線は衰退し、多い路線は生き残る、というハブ&スポーク網形成を予言した理論でもある。実際にde NeufvilleとGelmanは、簡単なゲーム理論を用いて、マーケットシェアモデルを構築し、その中で旅客とエアラインとの関係を運行頻度で結びつけた。

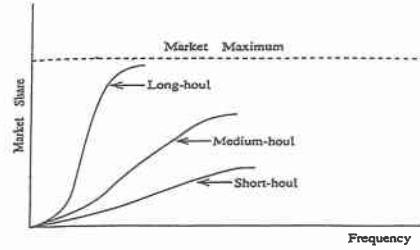


図-1 S-カーブ効果

(3) Hansenの複数空港選択モデル⁷⁾

de NeufvilleとGelmanモデルの最近の応用例として1993年のHansenによるモデルがある。モデル式は、(1)と(2)に示すとおりである。

$$P(j|i,k) = \frac{e^{v_{ijk}}}{\sum_l e^{v_{iljk}}} \quad (1)$$

$$v_{ijk} = \alpha \cdot \log(PAX_{jk} + \theta \cdot (NLPAX_j + \sum_{n=k} PAX_{jn})) + \beta \cdot \log(DIST_k) \cdot \log(1 + PAX_{jk}) + \psi \cdot ATIME_{ij} + \tau_j \quad (2)$$

ただし、

- $P(j|i,k)$: 地域*i*に居住する人の*k*目的地への移動における*j*空港の選択率
- PAX_{jk} : *j*空港から*k*目的地へ移動する総航空旅客数
- $NLPAX_j$: *j*空港における幹線航空路利用者数(トランジットを含む)
- $DIST_k$: 複数空港のある地域から*k*目的地までの距離
- $ATIME_{ij}$: 地域*i*から*j*空港までのアクセス時間
- τ_j : 空港*j*に関する定数項

効用関数である(2)式の第1項は、当該空港のトランジットを含めた魅力をしめすもので、幹線とローカル線に路線を分けて、ローカル線利用者数によって当該空港のハブ機能の大きさを表わしているのが特徴である。第2項は、論文の副題となっているフィードバック効果の部分であり、路線距離と需要量を用いて路線の魅力を表わしている。式の中で需要に1.0が加わっているのは、需要が無い場合でも距離によって路線の魅力を表わすためである。フィ

ードバック効果の考え方は、以下に示す需要に関する2つの法則性が、路線距離が長くなればなるほど強く現われることによる。1つは、需要が少ない内は目的地への直行サービスはエアラインの経済性から問題があるものの、需要の増加とともに、直行サービスが可能となり、利用者もそれを望む。他の1つは、直行サービスが成立する需要に達すると、運行頻度や機材の大型化が図られ、それがまた需要の増加をもたらす。第3項は、空港アクセスに関わる変数である。また、このモデルの今後の課題として、筆者らは、空港容量制約をどの様に取り込むかを挙げている。

この論文では、提案したモデルをサンフランシスコ国際空港、サン・ジョゼ空港、オークランド空港の3空港選択に適用している。データは、1991年8月の一週間に、この3空港を離発着した1400便について、乗客の約10%に行なった実態調査データと、DOTによるチケット調査（1年間の方面別利用実態）データによっている。分析の結果は、表1に示すとおりであり、パラメーター θ の値に関係なく、尤度比で0.5位となっている。予測値と実績値の関係を示したものが、図-2である（ $\theta = 0$ の場合で、長距離路線のみをプロットしたもの）。

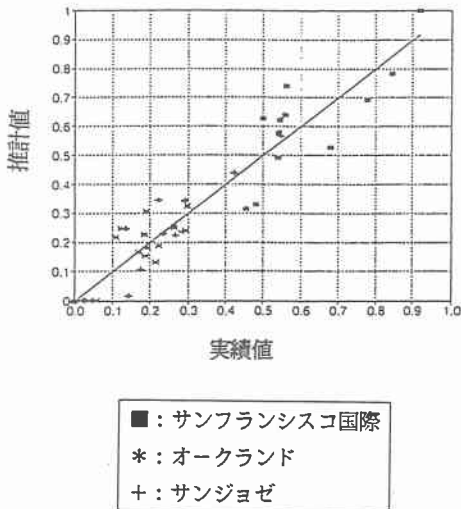


図-2 推計値と実績値

分析結果について、従来の利用者空港選択モデルと本モデルとの比較までは至っていないが、モデルパラメーターの安定性、現状再現性の高さなどが、十分説明力のあるモデルが構築されたとしている。そして、本モデルが、エアラインのハブ化の効果把握にも使えることを強調して結論としている。

Hansenモデルの新しさは、ある地域にある複数空港の選択率を求めるとき、各空港の路線別航空需要量をも説明変数としていることであろう。利用者の空港選択モデル構築では、一般には行なわない試みであり、エアラインや空港事業者の制御変数を積極的に取り込んだことは評価できよう。あえて批判的に述べれば、選択率と空港別需要量と言わば一対一の関係にある変数をモデルに導入することの基本的な議論があろう。また、空港事業者の立場は、空港容量制約の影響を把握できるモデル構築が必要とされる。

3. 北海道における空港選択モデルとの

パラメーター比較

1994年秋に実施した北海道の空港利用実態調査データをもとに、旅客サイドからみた札幌都市圏の複数空港選択モデルを構築した。モデルは、非集計ロジットモデルで作成し、モデル説明変数は、運行頻度、旅行時間、航空運賃、アクセス時間、アクセス費用の5変数である。なお、運行頻度は、そのままの頻度を用いた（モデル1）と対数を取り擬似Sカーブ効果を導入した（モデル2）の2種類を用いた。尤度比は、共に0.43となり良好なモデルが構築できた。このモデルのパラメーター（表-2）と表-1のものと比較すると次のことが分かる。

- ①旅行時間のパラメーターを海外の4つのモデルとほぼ同じで安定的に求まっている。
- ②運行頻度のパラメーターは、実数値をもちいた場合Ashfordのモデルに似た大きな値となっており、対数をとることで、パラメーターは、低くおさえられている。
- ③モデル構造として、旅客サイドのモデルをとっている限り、先に述べた運行頻度において安定的なパラメーターが求まっていない可能性がある。

表-2 モデルのパラメーター

	モデル1	モデル2
旅行時間	-0.18	-0.15
運行頻度	1.34	0.75

4. 空港位置選択モデルの提案

本研究では、Hansenモデル(1993)の構築には至っていないが、このHansenモデルの構築を一步拡大させたモデルの概念の提案を行なう。

ある地域に2つの空港があり、その空港間の距離は単位長さ1.0あるものとする。その周辺に利用者が点在していて、その分布は空港利用圏として表せ、線状にならんでいるものとする。ここで、空港利用圏の大きさ(幅)も1.0と仮定し、これがある空港端より δ だけずれている場合を考える。図-3は、上記の仮定を図化したもので、空港2に有利に都市圏が存在している場合を示したものである。

この概念モデルにおいて、空港1の選択率を考える。空港利用圏の中心から、 X の位置($-1/2 \leq X \leq 1/2$)に居住している人の空港1を利用する確率を $P(1|X)$ とすると、その定式化は(3)式で示される。なお、 MS_1 は、空港の魅力度であり、それは(4)式で示されるものとする。このように考えると(3)、

(4)式で未知の値 α 、 β 、 δ のうち α 、 β は、空港の魅力度と空港アクセスに関わる重み係数と考えられる。このモデルにより、 α 、 β を任意に与えることで、 δ という空港利用圏とその中の2つの空港との位置の変化に応じた空港選択率を求めることができる。なお、この α 、 β については、Hansenのモデルのパラメーターにより与えられるので、 δ が一意に求まることとなる。

$$MS_1 = \int_{X=-1/2}^{X=1/2} P(1|X) dx \quad \text{----- (3)}$$

$$P(1|X) = \frac{e^{\alpha \cdot MS_1 - \beta \cdot (X - \delta + 1/2)}}{e^{\alpha \cdot MS_1 - \beta \cdot (X + \delta + 1/2)} + e^{\alpha \cdot (1 - MS_1) - \beta \cdot (X - \delta - 1/2)}} \quad \text{----- (4)}$$

5. おわりに

本研究で分かった点は、以下のとおりである。

- ①旅客需要サイドの空港選択モデルからは、複数空港システムに関わる政策決定を十分に評価できないため、エアラインサイド空港管理者サイドの政策も評価できるモデル構築の研究が近年ははじめられていること。
- ②Hansenのモデルは、この意味から画期的なモデル構成となっており、わが国においてもその適用を検討する価値があること。
- ③上記モデルを使って発展型としての空港立地選択モデルの概念をしたこと。

以上の②と③については、北海道の札幌都市圏を対象とした分析が必要であり、これは今後の課題である。

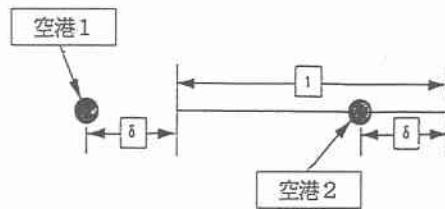


図-3 空港立地選択の概念図

<参考文献>

- 1)Skinner R. (1976) : Airport choice : an empirical study, Transportation engineering Journal 4 : 871-882.
- 2)Manafani A., Gosling G. and Taghavi S.(1977) : Studies in the demand for short haul air transportation, Institute of Transportation Studies, Univ. of California, Berkeley, special report.
- 3)Harvey G. (1987) : Airport choice in a multiple airport region, Transportation Research A 21A, 6:439-449.
- 4)Ashford, Norman and Benchenen H. (1987) : Passengers' choice of airport:an application of the multinomial logit model, Transportation Research board, 66th Annual Meeting
- 5)Kellerman & de Neufville W.R. (1973) : Planning for satellite airports, Transportation Engineering Journal 3 : 537-551.
- 6)Taneja (1968) : Airline Competition Analysis, M.I.T. Report 868-2.
- 7)Hansen M (1993) : Modeling Multiple Airport Systems, Univ. of California Research Report 93-12.