

マルチ・エアポート・システムのモデル化

—複数空港が存在する地域の空港選択構造—

Modeling Multiple Airport Systems -The structure of Airport Choice in a Multi-airport Region-

浦田 康滋*、松本 直彰**、田村 亨***、斎藤 和夫****

by Kouji URATA*, Naoaki MATSUMOTO**, Tohru TAMURA***, Kazuo SAITO****

1. はじめに

欧米においては大都市圏に複数の空港を有している場合が多く、それぞれの機能分担の下で、航空利用者と航空事業者が空港選択を行っている。わが国ではこの様な複数空港利用が発達していないものの、福岡空港と北九州空港、広島空港と広島西飛行場、新千歳空港と札幌飛行場など地方中枢都市においては現存する複数空港の利用方法が課題となってきた。

海外では、この課題をテーマとした研究が幾つかみられる^{1), 2), 3), 4)}が、その特徴は①空港のハブ機能をどの様に評価するか、②都市圏の人口分布からみた空港配置、③航空事業者の路線参入や便数設定からみた個別企業の空港選択である。この内、③はアメリカを中心とした航空規制緩和に関わるものであり、わが国で当面参考となる研究は①と②と考えられ、この最近研究として Mark Hansenのモデル(1993)⁵⁾がある。

本研究の目的は、2つある。1つは、Hansenのモデルを紹介するとともに、このモデルを北海道内の路線における新千歳空港と札幌飛行場の選択に適用しその有効性を検討することである。他の1つは、都市圏に人口が線状に一樣分布していると仮定した場合の機能分担に関する政策評価モデルを構築し、Hansenモデルが提案している幹線-非幹線の分担・路線数・空港アクセス条件が変化した場合の空港シェアへの影響について検討できるモデルの構築を行う。

Key Words : 空港計画、空港選択、公共交通計画

* 正会員 北海道開発コンサルタント

(〒004 札幌市厚別区厚別中央1条5丁目4-1 Tel 011-801-1520)

** 学生員 室蘭工業大学大学院 建設システム工学専攻

(〒050 室蘭市水元町27-1 Tel0143-47-3419 FAX 0143-47-3411)

、* 正会員 室蘭工業大学

うことである。

2. 「空港選択」の考え方

空港の選択は航空利用者と航空事業者によってなされるが、そもそもの空港建設もこれらの需要を配慮してなされる。空港建設から見た場合、わが国では事業採算性を重視して、無駄な投資を避けるため空港と空港利用圏はワンセットで考えることが多く空港利用圏を重ねることは殆どない。これに対して欧米では、航空利用者と航空事業者の選択の範囲を広げることを重要とし、空港利用圏域が重なることを認めている(図-1)。

これは、商圈理論でも説明され、わが国では施設の最適配置を議論するのに対して、欧米では活動の最適配置が議論され、活動の選択機会をいかに増やすかが大切とされる。特に、欧州では、道路・空港などの社会基盤を人々の活動を支援する装置として定義付けすることが多く、種々の活動内容を吟味してその活動内容が促進されることを目的とした施設設計画、すなわち“活動の最適配置に基づく施設計画”が議論されている。

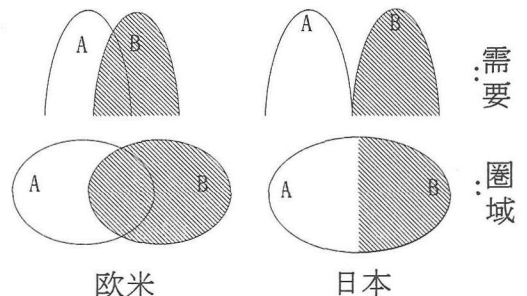


図-1 欧米と日本の交通網整備における商圈の考え方の違い

空港建設が進んだわが国の航空政策においては、

空港の有効利用が課題であろう。そして、昨今の多様なニーズに対応するためには、ソフトな施策として、提供するサービスとその価格の組合せのバリエーションを用意して、利用者自らが必要なものと必要でないものとを積極的に判断する状況、すなわち、評価を利用者に委ねることが重要と考えられる。

3. Hansenの空港選択モデル

Hansenモデルは、航空旅客の選択に関わる以下の3つの前提に基づいている。

- ①旅行者は幹線が参入している空港であるとか、路線数の多い空港、空港ターミナル規模などによって空港選択を行う。
- ②旅行者は、移動する路線のサービスレベル（運行頻度、所要時間、運賃など）によって空港選択を行う。
- ③旅行者は、出発地から空港までのアクセス条件によって空港を選ぶ。

この提案からHansenは、「幹線－非幹線の分担」「路線のサービスレベル」「アクセスしやすさ」をパラメータとした空港選択行動をモデル化した。

そのモデル式を（１）、（２）に示す。

$$P(j | i, k) = \frac{e^{V_{ijk}}}{\sum_j e^{V_{ijk}}} \dots\dots\dots (1)$$

$$V_{ijk} = \alpha \cdot \log(PAX_{jk} + \theta \cdot (NLPAX_j + \sum_{n=1}^k PAX_{jn})) + \beta \cdot \log(DIST_k) \cdot \log(1 + PAX_{jk}) + \psi \cdot ATIME_{jk} + \gamma_j \dots\dots\dots (2)$$

ただし、

- $P(j | i, k)$: 地域*i*に居住する人の目的地*k*への移動における*j*空港の選択率
- PAX_{jk} : *j*空港から目的地*k*への乗客の総計
- $NLPAX_j$: *j*空港における幹線航空利用者数
- $DIST_k$: 複数空港地域と目的地*k*の間の距離
- $ATIME_{ij}$: 地域*i*から*j*空港までのアクセス時間
- γ_j : *j*空港に関する定数項

（２）式の第一項は、当該空港の利用者数（トラ

ンジットを含む）であり、幹線とローカル線に路線を分けることによって当該空港のハブ機能の大きさを表している。第二項は、路線距離とその需要量を用いて路線の魅力を表している。式中で需要に1が加わっているのは、需要がないときも距離によって路線の魅力を表すためである。そして第3項は、空港アクセスに関するものとなっている。なお、アメリカ連邦航空局では、幹線とローカル線を定義しており、全航空需要の1%以上の利用者を有する路線を幹線、それ以外をローカル線と定義している。Hansenモデルでは、この定義に従って分類された路線を基に、幹線とローカル線を区別し、サンフランシスコの複数空港を事例にモデルの適応を行っている。

Hansenモデルの独創的な点は、（２）式の第1項に、「幹線－非幹線の分担」を明示的に導入していることである。わが国の空港選択モデルにおいて、この点を考慮したモデルの構築事例はない。これは、例えば成田と羽田の機能分担が国際線・国内線というように国の一元管理のもとに決められていることにもよる。アメリカのニューヨーク・ニュージャージ・ポートオーソリティにおけるJFK（国際）、ラガーディア（国際＋国内）、ニューワーク（国内）の3空港では、その機能について基本的にエアラインが決めており、ポートオーソリティは発着枠の管理のみを行っているという様に、空港機能分担の決め方が異なっているためでもある。

しかし、羽田沖合展開（二期工事）の発着枠増加における動きからも分かる様に、近年、わが国でも航空市場の規制緩和が進展しつつあり、幹線－非幹線をどのように空港に乗り入れさせるかは、航空会社の経営戦略へと繋がってきている。その意味では、空港の機能分担がどのように進むかを地域住民や航空利用者自体に周知させることも含めた情報が必要となってきている。その情報の1つとして、Hansenモデルに示された、空港選択要因の導入はわが国でも今後益々重要となってくる。

なお、このモデルの今後の課題としてHansenらは、空港容量制約をどのように取り込むかを挙げている。また、本モデルでは、空港シェアを説明するために空港利用者数を直接説明変数に取り込んでいる。これは、Hansen自らも認めているが、「空港のハブ機能を表す代理変数」としてやむなく取り込んだもの

とされている。しかし、この方法によって、ハブ機能が高ければそれだけ空港シェアも高いとすれば（仮定）、当該変数の導入は必然的にモデル推計精度を向上させることとなりかつ、モデルの構築方法として目的変数をそれと同じ情報を持つ変数により説明する点での問題が残る。この点については、仮定の吟味と代理変数の作り方の点において、今後の検討課題である。

4. 北海道におけるモデルの適用

北海道内の航空利用者を対象として、空港選択モデルの構築を行う。使用したデータは、表－1に示す6空港の道内路線乗降客を対象にアンケート調査を実施して得たデータである。調査内容は、回答者の属性（性別、年齢、職業、旅行目的など）、回答者の航空利用特性（出発地目的地、出発空港、到着空港、乗り継ぎ状況、アクセス・イグレス交通状況など）、交通機関選択要因（交通機関の頻度、所要時間、所要費用、希望出発時刻など）である。

表－1 調査概要

実施日	平成7年11月29日～12月2日
対象者	1965人
回答者	1660人
回収率	84.5%

対象路線	回答者数（人）
丘珠－釧路	149
丘珠－紋別	183
丘珠－中標津	317
丘珠－稚内	187
新千歳－釧路	424
新千歳－紋別	80
新千歳－中標津	123
新千歳－稚内	197

なお、本研究で構築する空港選択モデルにおいては、丘珠・新千歳両空港を選択可能な路線の利用者であり、426サンプルを分析対象とした。ここで、選択可能な利用者とは、札幌市に居住し、出発希望時刻において1時間の範囲内で両空港を利用できる人々である。

(1). モデルの構築と感度分析

本題であるHansenのモデルを用いて、空港のハブ

機能を表す変数を考慮したモデルを構築する。モデルの説明変数は、Hansenモデルに基づいて次の3つを導入した。

「幹線－非幹線の分担」のデータは、(2)式の第1項の変数をそのまま用いた。ここで、 θ はハブ機能の重みであり、0から 10^{-2} まで仮定することで、ハブ機能が増化したときの空港利用者を知ることができる。本研究では、NLPAXの幹線利用者数を、千歳－東京間の利用者数と考えた。なお、表－2では(2)式のパラメータ α につく説明変数を「ハブ機能」として記入してある。

「路線のサービスレベル」のデータは、Hansenモデルでは、「路線距離」によって表されている。しかし本研究の対象地域では、2空港間の距離が離れていないため、路線距離は空港間であり変わらないものの、丘珠はジェット化されていないので「飛行時間」には差がある。そのため、「運行頻度」と「飛行時間」を変数と考えたが、パラメータの符号の論理性が合わなかったため、「飛行時間」のみを変数とすることとした。

「空港アクセスのしやすさ」のデータは、利用者の居住地点から各空港までの「アクセス時間」を変数とした。

モデルの推定結果を表－2に示す。

表－2 ハブ機能の変化による空港選択

説明変数	$\theta = 0.0$		$\theta = 0.0001$	
	パラメータ	t値	パラメータ	t値
ハブ機能	1.9994	9.957	2.0267	9.956
飛行時間	-0.0469	-3.022	-0.0483	-3.103
アクセス時間	-0.0121	-2.796	-0.0121	-2.796
尤度比	0.4645		0.4644	
サンプル数	426		426	

説明変数	$\theta = 0.001$		$\theta = 0.01$	
	パラメータ	t値	パラメータ	t値
ハブ機能	2.2720	9.948	5.0835	9.838
飛行時間	-0.0590	-3.744	-0.1439	-7.192
アクセス時間	-0.0121	-2.800	-0.0122	-2.814
尤度比	0.4634		0.4566	
サンプル数	426		426	

モデルは、どれも尤度比0.46となり、適合度の高いモデルが構築できた。t値で見ると全体として、空港ハブ機能か否かが空港選択に最も影響を与えている。また、 θ が増加するにつれて（利用者のハブ機

能重視度が高まるにつれて)、空港のハブ機能が空港選択に与える影響が高くなることが、ハブ機能を示すパラメータよりわかる。また、 θ をどの程度に与えるべきかは、今回の場合それほど大きな問題とならなかったが、Hansenが適用したサンフランシスコ地域では、 θ の与え方によって推計精度にばらつきがみられ、この点については、適用事例を増やして今後検討すべきと考える。

(2) 従来の空港選択モデルとの比較

Hansenモデルとの比較を行うため、従来型モデルの構築を行った。モデルは、「運行頻度」、「飛行時間」、「アクセス時間」のみのモデルであり、Hansenモデルの「幹線－非幹線の分担」((2)式第1項)を導入していないモデルである。また、「路線のサービスレベル」については、「運行頻度」と「飛行時間」を入れて構築した。これは先のHansenモデルと異なり、両変数を導入しても、パラメータの符号に論理性があるためである。

モデル構築においては運行頻度にS字カーブ⁶⁾を導入した場合(モデル1)とそうでない場合(モデル2)についても検討している。S字カーブとは、運行頻度と需要の関係が線形ではなくS字を描くことから名付けられたもので、'80～'90年代のアメリカにおける航空需要予測モデルの研究で、多くの議論がなされた。具体的には、路線距離によるものの、一日に2～3本程度の運行であるならば、日帰りもできず、需要はあまり顕在化しないが、日に6～20本程度になると、需要が対数的に増加、日に20本以上になると運行頻度が増加しても需要増加に影響を与えない、というものである(図-2)。

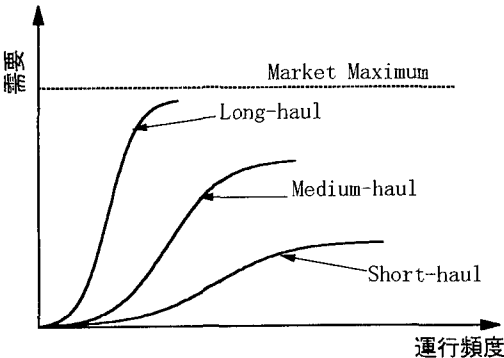


図-2 S字カーブの概念

分析の結果を尤度比からみると、従来型モデルは、Hansenモデルよりも明らかに推計精度が下がっていることが分かり、Hansenモデルの有効性が確認できた(表-3)。すなわち、「幹線－非幹線の分担」を明示的にモデルに導入することが、重要であることが分かった。

表-3 空港選択モデル

モデル1		
説明変数	パラメーター	t 値
運行頻度	1.2769	8.0862
飛行時間	-0.0116	-1.0040
アクセス時間	-0.0081	-2.9094
尤度比	0.3872	
サンプル数	426	

モデル2		
説明変数	パラメーター	t 値
運行頻度	2.1008	7.0252
飛行時間	-0.0098	-0.8907
アクセス時間	-0.0083	-3.0331
尤度比	0.3311	
サンプル数	426	

5. 2 空港の機能分担に関わる政策評価モデル

本章では、Hansenモデルから推定されるパラメータを用いた”複数空港の機能分担に関わる政策評価のシミュレーションモデル”の提案を行う。

これまでの複数空港の利用を考える場合、母都市と新設空港の位置関係や空港アクセスの関係から、その分担関係がどのように変化するかを論じた研究はいくつかある。しかし、利用者にとって空港の魅力を構成する重要な要素は、どのような路線を持つ空港かであると考えられ、これを量・質両面から機能分担させて適切な空港利用を誘導することが重要である。

ここで提案する2空港の機能分担評価モデルは、幹線－非幹線や路線数をシェアさせるとき、空港の利用はどのように変化するかを評価できるモデルである。もちろん、2空港における母都市と空港位置やアクセス条件は計画変数として導入できるモデル構造でなければならない。

(1) 評価モデルについて

「母都市と空港位置」と「アクセス条件」をも変

数としながら、空港機能分担に関わる政策評価ができるモデルを構築するためには、問題を単純化しなければならない。その方法として、①「母都市と空港位置」と「アクセス条件」に関するもの、②式(2)の空港選択モデルをどの様に単純化するかを考えた。

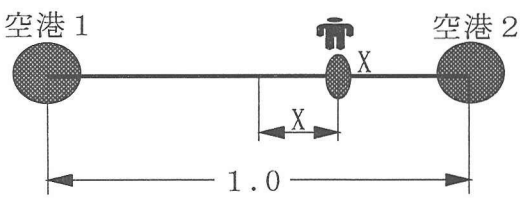


図-3 都市圏が空港間に収まっている場合

まず、①について図-3、4を用いて説明する。ある都市圏に2つの空港を考え、空港間の時間距離を単位長さ1.0とする。この地域に空港利用者が点在しており、その分布を空港利用圏として線状に仮定する。この場合、空港利用者は一様に分布しているので、空港アクセス条件は両空港の利用シェアに影響しない。従って、空港アクセス条件をどちらか一方の空港に有利にするために空港利用圏をある空港端より δ だけずらした場合を考える。例えば、図-4は空港2に有利に空港利用圏が存在する場合の仮定を示しており、時間距離の相対的な比率は、空港2の方が大きい。

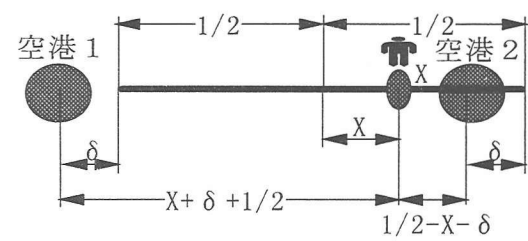


図-4 都市圏が δ だけずれた場合

次に、②の式(2)に示す空港選択モデルをどの様に単純化するか、について説明する。提案するモデルでは、現状の空港シェアが「幹線-非幹線の分担」と「路線のサービスレベル」の変化によってどの様に変化するかが分かればよい。しかし、式(2)の第一項と第二項をそのまま導入するのでは操作変数が多くなりすぎ、図-4の様な単純化された対象に沿った変数導入方法が必要である。そこで、式(2)の「幹線-非幹線の分担」と「路線のサービスレベル」に

関わる説明変数を0.0-1.0で変動するS1と式(2)のパラメータの関数 $f(\alpha, \beta)$ で表すことを考えた。もともと式(2)におけるパラメータ α, β, ϕ は対象地域の特性を表すものでありこれを導入することで提案するモデルをより一般化できる。また、S1は空港1から見た2空港間の力関係を示しているため、「幹線-非幹線の分担」関係についてはS1を適宜変化させることで対応できる。

以上の単純化により提案するモデルは式(3)、式(4)である。式(3)は、図-4において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 $P(1|X)$ として定式化したものである。式(4)は空港1のシェアを求めるため、空港利用圏全体の人口分布に対し、集計化して求められる。なお、 $f(\alpha, \beta)$ 、 ϕ は、本来、(2)式のHansenモデルから求める値であるが、ここでは、モデル感度分析を行う為、 $f(\alpha, \beta)$ 、 ϕ 共に、任意の値を与えた場合の空港シェア $P(1|X)$ の変化を見ることとした。

$$P(1|X)=\frac{e^{V1}}{e^{V1}+e^{V2}}\cdots\cdots\cdots(3)$$

$$V1=f(\alpha,\beta)\cdot S1-\psi\cdot(X+\delta+1/2)$$

$$V2=f(\alpha,\beta)\cdot(1-S1)-\psi\cdot(1/2-X-\delta)$$

$$MS1=\int_{X=-1/2}^{X=+1/2}P(1|X)\,dX\cdots\cdots\cdots(4)$$

ただし、

- P(1|X)：空港利用圏からXの位置に居住する人の空港1を選択する確率
- $f(\alpha, \beta)$ ：空港1と空港2の選択において「幹線-非幹線の分担」と「路線のサービスレベル」の要因によって決まる2空港の重みパラメータ
- ϕ ：「アクセスしやすさ」に関わるパラメータ
- δ ：空港利用圏の位置のずれ
- S1：「幹線-非幹線の分担」と「路線のサービスレベル」に関わる両空港の力関係
- MS1：空港1の利用比率

(2). モデルの感度分析と考察

本モデルでは、現実のS1(2空港間の力関係)が与えられるとして、対象地域の特性である $f(\alpha, \beta)$ やアクセス条件の増減により、どの様に空港利用率が変化するかを評価するものである。従って、感度分析では、S1を0.0から1.0まで変化させ、それぞれのS1において $f(\alpha, \beta)$ や ϕ が変わったときの空港利用率を計算する。

例えば図-5で、対象とする空港が $f(\alpha, \beta)=0.5$ 、 $\phi=1.0$ で与えられ $\delta=0$ の場合は、S1が50%から80%に増加した場合の空港1の利用比率MS1はあまり変化しない。同一条件で先の $f(\alpha, \beta)=0.5$ に比べてハブ機能が高くなった場合を想定し、 $f(\alpha, \beta)=4.0$ という対象地域を考えると、空港1と空港2の力関係を表すS1が50%から80%へと空港1がより便利な空港(利用者が多く集まる空港)に変わると、 $f(\alpha, \beta)=0.5$ に比べて、空港1の利用シェアは急激に増加することが分かる。なお、2つの空港間のアクセス条件に差がない場合($\delta=0$)、式(3)から明らかに、S1が50%ならば $f(\alpha, \beta)$ が増えても両空港の利用シェアは変化しないことが分かる。

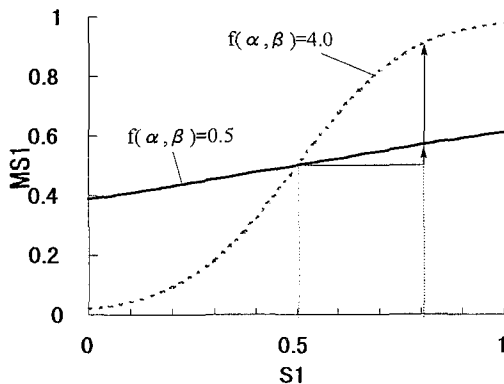


図-5 $\delta=0$ 、 $\psi=1$ の場合

次に、重み ϕ を固定して、母都市と空港の位置 δ を変化させた時の空港シェアの動きを見たのが図-6である。図を見ると δ が大きくなっていくに従って、空港1のシェアは小さくなっていくことがわかる。しかし、 $\delta=0.10$ と $\delta=0.25$ の直線の丸が示しているように、位置的に空港1が不利でも、空港間の力関係S1が高い場合(幹線が空港1に乗り入れている場合など)、空港1のシェアは、高くなることがわかる。

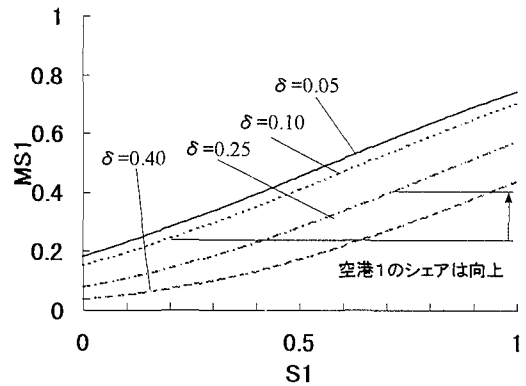


図-6 $f(\alpha, \beta)=2$ 、 $\psi=3$ の場合

最後に、「幹線-非幹線の分担」「路線サービスによる分担」に関する重みの変化による空港シェアの変化を図-7に示す。この意味は、空港の地域特性の違いによって、例えば $f(\alpha, \beta)$ が小さい空港と大きい空港では、現状のS1が変化することで、どのくらい空港シェアに変化があるのかを知ることである。そのためアクセス条件を $\delta=0.1$ 、 $\phi=1$ と固定し、 $f(\alpha, \beta)$ を変化させてMS1の動きをみる。図-7より例えば地域特性 $f(\alpha, \beta)$ が0.1の対象では、現状のS1=50%が80%となっても空港1のシェアはあまり変わらないことが分かる。しかし地域特性が高い空港においてS1が増加することは、空港シェアの変化に強い影響を及ぼしていることが分かる。

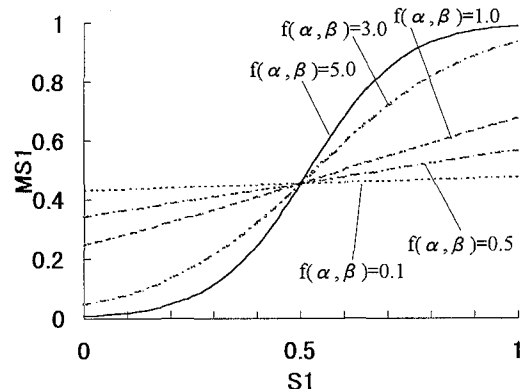


図-7 $\delta=0.1$ 、 $\psi=1$ の場合

また、この図は、都市圏が空港2に有利に位置する場合を表しており、S1が50%(空港2と等しい)ならば、空港1のシェアは45%である。これより、

両空港に位置的な差がない場合（図－５）に比べて、空港２にアクセス条件が有利な場合の空港１の利用シェアは、下がる事が分かる。

6、おわりに

本研究のまとめを以下に示す。

- ①「空港の選択」について、マルチエアポートシステムの基本的考え方を示すとともに、最近の研究としてハブ機能を明示的に取り込んで空港選択モデルを構築しているHansenのモデルの有用性を論じ、わが国への適用意義をとりまとめた。
 - ②Hansenのモデルを北海道の事例に適用しモデルの有効性を確認したとともに、空港ハブ機能をどのように扱って空港選択モデルを構築すべきかという議論の糸口を明示した。
 - ③空港アクセス条件という母都市と空港位置に関わる要因のみならず、複数空港における幹線－非幹線の分担関係を要因に取り込むことによりハブ化を評価できるモデルが提案できかつその感度分析からモデルの信用性を確認した。
- 本研究の課題としては、①空港ハブ機能は本来、与件としてモデル構築している現在の方法を改良す航空事業者の戦略として行われるのであり、それをする事、②機能分担モデルについては、空港の魅力を量だけでなく質の面からも議論すること。また新設空港はもとより、既存空港のアクセス改善として

の現実の問題に対応する必要がある、このモデルをどのように利用するのかの工夫が必要である。

〈参考文献〉

- 1) Kanafani A., Gosling G. and Taghavi S. (1977): Studies in the demand for short haul air transportation, Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley, special report.
- 2) Harvey G. (1987): Airport choice in multiple airport region, Transportation Research A 21A 6:439-449
- 3) Ashford, Norman and Bencheman M. (1987): Passengers' choice of airport: an application of the multinomial logit model, Transportation Research Board, 66th Annual Meeting
- 4) Hansen M. (1990): Airline Competition in a hub-dominated environment, Transportation Research B 24B, 1:27-43
- 5) Hansen M. (1993): Modeling Multiple Airport Systems, Univ. of California Research Report 93-12
- 6) 田村亨(1989): 地域航空サービスにおける社会的最適便数についての考察, 土木計画学研究・講演集, No. 12, PP613-618

マルチ・エアポート・システムのモデル化－複数空港が存在する地域の空港選択構造－

浦田 康滋、松本 直彰、田村 亨、斎藤 和夫

本研究は、空港利用圏内に複数の空港が存在する場合の空港選択モデルの構築と、空港機能分担による空港シェアの変化を把握できるモデルの提案を行なうものである。従来の複数空港選択モデルでは、航空機運航頻度や料金、アクセス条件などを説明変数としており、幹線－非幹線など運航路線の質の評価ができるモデルではなかった。本モデルはこの点に工夫を行い、北海道の千歳空港・丘珠飛行場を事例にモデル推計を行なった結果、良好なモデルが構築できた。また、空港シェアモデルの提案では、空港アクセス条件という母都市と空港位置に関わる要因のみならず、複数空港における幹線－非幹線の分担関係を要因に取り込むことによりハブ化を評価できるモデルが提案できかつ、その感度分析からモデルの有用性を確認できた。

Modeling Multiple Airport Systems -The structure of Airport Choice in a Multi-airport Region-
by Kouji URATA, Naoaki MATSUMOTO, Tohru TAMURA, Kazuo SAITOU

The paper applies a model of traffic allocation in Multiple Airport System (MAS). Unlike most previous studies, which focus on passenger's choice of airport for a given set of service attributes (frequency, fare, etc.), the model developed assumes that service attributes are endogenous to the system and directly related to airport traffic volume. Using this model, we consider a two-airport market share in a linear city and is applied to the Hokkaido Area, served by two commercial airports (Chitose and Okadama).

Thus, we have developed a new multiple airport systems model that contributes to the understanding that representation should take into account threshold effects on the imports of hubbing (trunk or non-trunk service availability).
