

IV-7

航空サービスの質に関する交通計画学的研究

北海道大学工学部 学生員 渡辺 英章

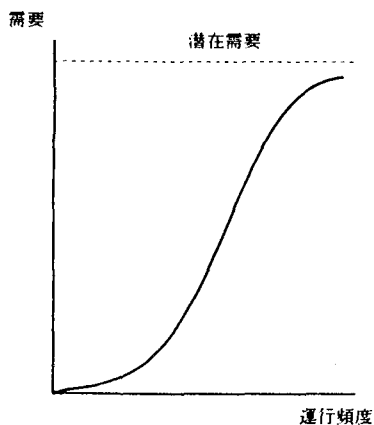
北海道大学工学部 正 員 田村 亨

北海道大学工学部 正 員 五十嵐 日出夫

I はじめに

今までに、航空需要の予測モデルは数多く構築されてきているが、その多くは運賃との関連を中心としており、運行頻度を問題としたモデルはあまり多く研究されていなかった。また、運行頻度を考える場合は、運行頻度と需要は線形の関係で結ばれるものとして考えられてきた。

しかし、最近では運行頻度と需要の関係は線形の直線で表されるものではなく、図I-1のように運行頻度に対してS字形の曲線となるような需要が出てくると考えられ始めている。そして、このS字形の運行頻度—需要曲

図I-1 経験的な、運行頻度と
励起される需要の関係

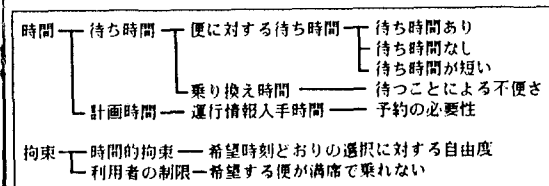
線は運行距離によって変化するものと考えられている。このような需要関数の明確化は、航空事業者・航空利用者双方にとって最適な便数の計画立案上重要なことは言うまでもない。そこで本研究の目的としては、このような運行頻度と需要の関係を考えて、第1に、運行頻度を取り入れて経済学における総余剰最大のお考えにもとづく需要関数の定式化を行う。第2に、運行頻度を考える上での航空需要と運行頻度の関係についての既存研究のレビューを行う。第3に、ケース・スタディによる、定式化された需要関数の同定を行うものである。

II 既存研究のレビュー

1. 航空の質に関する研究レビュー

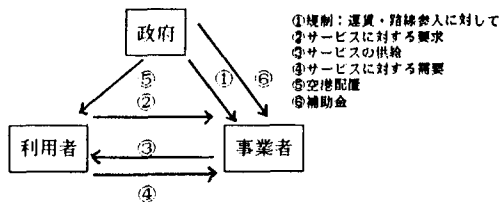
航空サービスの質の中で、運行頻度サービスに關係のある項目は、時間と拘束の2つに含まれてくる。ここで、これらの2つの大項目について、特に運行頻度サービスに關しての項目を示したものが表II-1であ

表II-1 運行頻度に關係するサービスの質



る。この表からみて、運行頻度と需要の関係を考える場合には希望時刻どおりの便があるかどうか、また、ないときは待ち時間がどの程度かということ、希望する便に乗れるかどうかという2点が重要になってくると考えられる。

次に航空サービスの質に關しての既存研究についてみでみる。まず、航空サービスに關与する、利用者・事業者・政府の3者の関係を、図II-1に示してある。



図II-1

ここで、①の規制については運賃の規制や路線への参入・退出についての規制が行われているが、これは競合交通機関や競合事業者間の調整のために、また航空企業の競争力の育成のための保護・監視のためであった。しかし、近年の航空企業の会社組織や資本の充実、さらに②の利用者からのサービスに対する要求にともない、規制緩和・自由化への動きがみられる。わが国におけるこの分野での研究としては、規制緩和が市場に及ぼす影響をゲーム論的なモデルで表した、東工大の厚谷によるものがある。また、米国においては航空市場への規制の効果を経済分析モデルで説明しようとしたものが、Douglas と Millerの論文をはじめとしていくつか発表された。③のサービスの供給に対しては、航空企業のリスクを考えての最適運賃・機体容量を示そうとしたWarren Powell と Clifford Winstonの研究がある。④のサービスに対する需要に關しての研究として、サービス変数を導入しての需要モデルを構築しようとしたRichard A. Ippolito の研究がある。この

際のサービス変数として運行頻度を取り入れるが、運行頻度とそれにより起こる需要は線形であるとして考えている。この論文で、サービスの供給についても言及しており運賃の決定は距離や運行頻度によらないことを示している。その他の研究として、運賃に対する個人選択の予測を国際線について行ったDavid.A.Hencher とJordan.J.Louviere の論文がある。この論文は、運賃を中心としたサービスの質の向上に対して旅客がどのように反応するかを経験的に分析したものである。また、希望出発時刻と実際の出発時刻の差であるディスプレイメント時間を取り入れて、サービスレベルとしての運行頻度を考えて、頻度変化が需要量にどのように影響するかをシミュレートしたSteven.E.Eriksenの航空需要モデルの研究などもある。⑤の空港配置については、中東工科大学のOmer Saatciogluが発展途上国における空港配置の最適なパターンおよび需要量に対して必要とされる最小空港量を決定するモデルを示している。

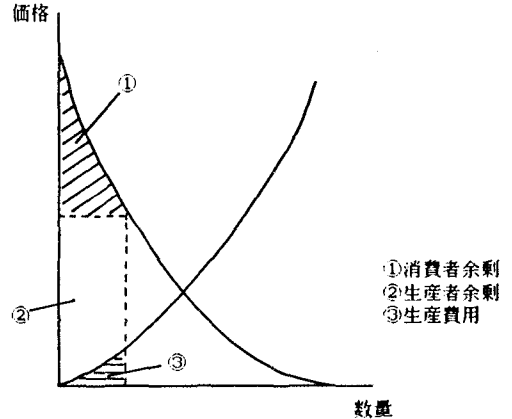
2. 最適便数に関する研究レビュー

サービスとして運行頻度を考えた場合、運行頻度が多いほどサービスの質は高くなると考えられているが、サービス供給者にとっては運行頻度が増えればそれだけ人員や機材も必要となりそれらの維持費や雇用費等の経費がかかることになる。そのためむやみに運行頻度を増やすわけにはいなくなる。一方の需要者側にとっても、運行頻度が増えれば時間的な利便性は増えるであろうが、ある程度の頻度を超えるとその利便性は利用者にとってあまり問題とならなくなると近年では考えられている。そこで、最適便数という考え方が出てきたわけである。最適便数についての研究は近年いくつかなされているが、わが国では寺田一薫が公共旅客輸送における社会的最適便数について、交通経済学的に論じたものがある。

III 総余剰最大を考えた需要関数・供給関数の定式化

1. 概要

余剰には、生産者余剰と消費者余剰の2種類がある。生産者余剰とは企業の利潤であり、消費者余剰とは消費者がそれなしで済ますくらいなら支払ってもよいと考える価格が実際に支払う価格を超過している分を言う。図III-1にこれらの余剰を示している。総余剰とはこれら2つの余剰の和である。従って総余剰を最大にするということは企業と消費者双方の利益の和を最大にすることから、社会的最適解を導くと考えられる。



図III-1 余剰と費用

このときの需要関数・供給関数の中に運行頻度を取り入れることによって、運行頻度を考慮しての需要および供給数と最適な頻度も表せることになる。そこで、運行頻度による社会的厚生を総余剰として捉えた理論について述べる。

仮定として、希望時刻は全時間帯に等しく分布しているとする。このとき、 W を社会的厚生、 N を便数、 π を企業利潤として、 S をfull price需要曲線の消費者余剰とすると、

$W = N \cdot S + N \cdot \pi$ と表される。full priceとは、希望時刻の便がない、希望する便に乗れない、運賃、という利用者にとっての負の効用を金額化したものである。ここで、それぞれを $h(t)$ 、 $g(N, L)$ 、 p としておき次式のようにおく。

$p = p + h(t) + g(N, L)$ このとき、 L はロード・ファクターである。また、一日の営業時間を T として、ディスプレイメント時間を $T/2N$ とすると、一便で運ぶ人数、つまり需要は、

$$q = 2 \int_0^{T/2N} x(p) dt$$

となる。ここでfull price需要曲線が図III-2のようになるとき図の斜線部が消費者余剰 S となる。したがって、

$$S = \int_p^\infty \left\{ 2 \int_0^{T/2N} x(p) dt \right\} dp = 2 \int_p^\infty \int_0^{T/2N} x(p) dp dt$$

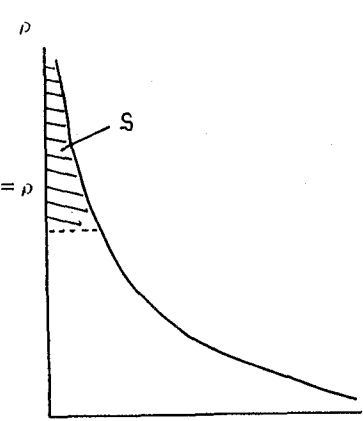
となる。

次に企業利潤 π についてであるが、一般に π は、総収入と総費用の差であるから、 p を運賃、 c を乗客一人あたりの費用、 b を一便あたりのサービス提供等の費用として、一便あたりの利潤は

$$\pi = p \cdot q - (c \cdot q + b)$$

$$\begin{aligned}
 &= 2 \cdot p \int_0^{T/2N} x(\rho) dt - \{2 \cdot c \int_0^{T/2N} x(\rho) dt + b\} \\
 &= 2 \cdot (p - c) \int_0^{T/2N} x(\rho) dt - b \\
 &N \cdot \pi = 2 \cdot N \cdot (p - c) \int_0^{T/2N} x(\rho) dt - N \cdot b
 \end{aligned}$$

となり、 W は次式のように表される。

$$\begin{aligned}
 W &= N \cdot S + N \cdot \pi \\
 &= 2 \cdot N \int_0^{T/2N} x(\rho) d\rho dt + 2 \cdot N \cdot (p - c) \int_0^{T/2N} x(\rho) dt - N \cdot b
 \end{aligned}$$


図Ⅲ-2 full price 需要曲線

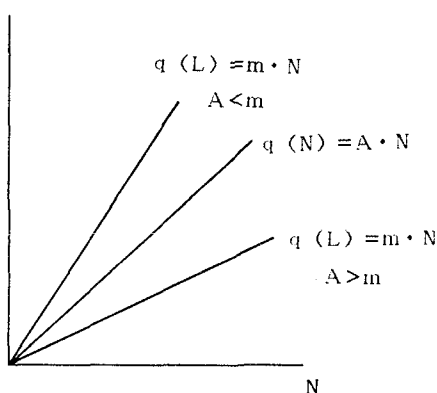
次に、導かれた W における需要関数・供給関数を、需要が運行頻度に対して線形でなく、S字形を描く関係にあるという考えのもとで論を進めていく。

2. 需要関数の定式化

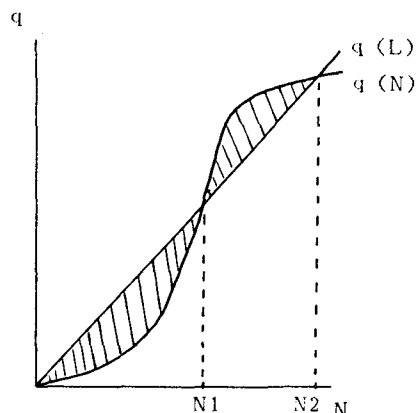
まず、需要と運行頻度が線形の場合を考えてみる。このとき需要を $q(N)$ 、運行頻度を N とすると、 $q(N)$ は N の一次式で表される。その式を仮に $q(N) = A \cdot N$ としておく。ここで A はある比例定数とする。図Ⅲ-3は、需要-運行頻度の直線とロード・ファクターを変えたときの運行頻度-供給座席数の直線($q(L) = m \cdot N$ とする)の関係を表したものである。この図において、 $A < m$ のとき需要に対して十分な座席数があり、空席数は $N \cdot (m - A)$ となり、一便あたりの平均空席数は $m - A$ である。 $A > m$ のときは、需要と比較して少ない座席数しか供給されない。このとき、不足座席数は $N \cdot (A - m)$ となり一便あたりの平均は $A - m$ である。つまり、ある便にお

いて空席がでるかでないかは運行頻度に関係せずロード・ファクターのみに依存することになる。そこで線形の場合は、運行頻度についてはディスプレイメント時間での負の効用による需要変化のみを考えればよかった。

需要
(座席数)



図Ⅲ-3 需要と運行頻度が線形の時



図Ⅲ-4 経験的な需要と運行頻度の関係

次に、需要が運行頻度に対してS字形を描く関係の場合を考えてみる。図Ⅲ-4は図Ⅲ-3と同様な図を需要-運行頻度のS字形曲線について描いたものである。この図において $0 \leq N \leq N1$ の範囲での斜線部は空席の状況を示しており、 $N1, N2$ の各交点では収容可能乗客数と需要が一致している。また、 $N1 \leq N \leq N2$ の範囲での斜線部は、供給された座席が需要と比較して不足しているためどの便にも乗れない人がいる状況を示している。

運賃 p は固定しておき、希望時刻に出発する便がない

こと $h(t)$ 、希望する便に乗れないこと $h(t)$ 、どの便にも乗れないこと $g(N, L)$ 、による3つの負の効用について考える。そこで、1.で表した ρ の式を修正した次式を考える。

$$\rho = p + h(t) \cdot 1 + h(t) \cdot 2 + g(N, L)$$

式中において、希望時刻に出発する便がないことによる負の効用は、最大待ち時間 $T/2N$ で考える。希望する便に乗れないことによる負の効用は、その便における空席のない確率を用いて、最寄りの便に移らねばならないことによる待ち時間を確率的に求めてこれを用いる。まず、確率を $\text{prob}\{h(t)\}$ とおくと、

$0 < N < N_1$, $N_2 < N$ では、図III-4の記号を用いて $\text{prob}\{h(t)\} = q(N)/q(L)$ となる。この確率が大きいほど $h(t)$ 、すなわち負の効用は大きくなり、小さいほど負の効用は小さくなる。そのときの、最寄りの便までの最大待ち時間を $D T_m$ として、

$h(t) = \text{prob}\{h(t)\} \cdot D T_m$ とする。このようにして、希望の便に乗れず、他の便に乗ることの負効用を、待ち時間の期待値的な長さとして取り扱うことにした。どの便にも乗れないことによる負の効用は、ある乗客が余りとなる確率で表す。

これを $\text{prob}\{g(N, L)\}$ とおくと

$$\text{prob}\{g(N, L)\} = (q(N) - q(N)) / q(N) \text{ となる。}$$

そこで例えば便数が N_x のときの負の効用を ρ_x として、

$$\rho_x = p + h(T/2N) + h(T/2N, \text{prob}) + g(N, L)$$

を金額化する。また、そのときの1日需要を q_1 として次式のように q_1 を求める。

$$q_1 = N_x \cdot 2 \int_0^{T/2N} x(\rho) dt$$

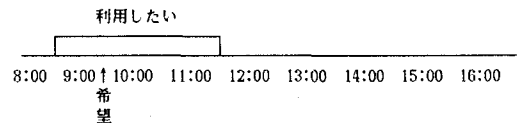
このような形で、便数 N を変えたときの ρ 、 q を定めていき、需要曲線の推定を行う。負の効用の金額化についてであるが、待ち時間による $h(t)$ 、 $h(t, \text{prob})$ は、待ち時間をその人の時間価値の損失と考えることにする。便に乗れないことによる負の効用 $g(N, L)$ は、希望の便に乗れないのであれば、運賃に上乗せしてでも乗りたいという上乗せの支払い意思額で考え、空席のない確率にこの支払い意思額を乗ずることにより金額化する。

供給関数としては、サービス供給数と費用の関係を表せばよい。航空会社の経営規模にもよるが、供給関数の具体的な数値が既に一般化されている。(※参考文献)

IV ケース・スタディ

1. 調査の概要

ケース・スタディを行うにあたっては、ディスプレイメント時間が需要にどのような影響を及ぼすかということがわかるようなデータが必要である。本研究では昭和61年に丘珠空港で実施した、図IV-1のようなデータ(180 サンプル)を用いて分析した。ここで、ディスプレイメント時間は置き換え時間と遅れ時間に分けて考えている。置き換え時間は希望時刻より早い便で出発する場合であり、遅れ時間は遅い便で出発する場合である。それぞれのサンプルについてディスプレイメント時間と利用希望者数の関係は表IV-1のようになっている。この関係をグラフ化したものが、図IV-2である。この図では、全サンプル数に対するあるディスプレイメント時間での利用希望者数の割合を、そのディスプレイメント時間における利用率として捉えている。



図IV-1

表IV-1

遅れ時間と利用希望者数(全サンプル数156)

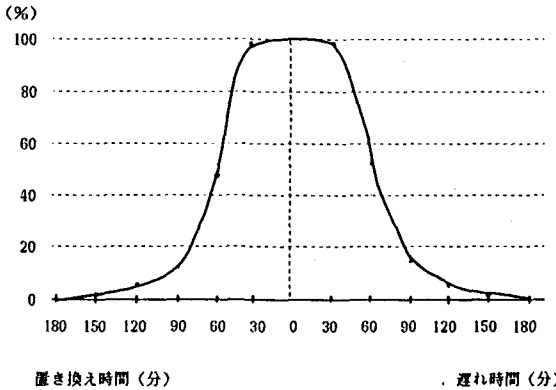
ディスプレイメントタイム	利用希望者数	%
0	156	100
30	155	99.4
60	76	48.7
90	19	12.1
120	9	5.8
150	2	1.3
180	0	0

置き換え時間と利用希望者数(全サンプル数103)

ディスプレイメントタイム	利用希望者数	%
0	103	100
30	102	99
60	54	52.4
90	17	16.5
120	5	4.8
150	1	0.97
180	0	0

2. 需要と運行頻度

需要と運行頻度の関係について考えてみるが、ここでは簡単のために、等時間間隔で運行されているものとしておく。このとき最大ディスプレイメント時間



図IV-2 ディスプレイメント時間による利用率の変化

DT_m は、便数 N と営業時間 T によって $DT_m = 0.2 \cdot N \cdot T$ と表されるので、ディスプレイメント時間から逆に便数を定めることができる。1日の営業時間を9時間としたときの DT_m と N を示したものが表IV-2である。図IV-3は、利用したい時間帯というデータを集計して全体に対する割合で表示したものである。これは希望時刻の頻度分布であるとともに潜在的需要の分布割合ともみることができる。定式化での仮定と違い、実際には希望時刻は等分布ではないため、この図を用いて各希望時刻についての需要を考えることにした。これらから、運行頻度ごとの利用率を表したものが図IV-4である。ここでいう利用率は、その便に乗れる乗れないに関わらず、乗ることを希望する人の割合であるから、運行頻度とそれによって起こる需要の関係を表しているといえる。

3. ケース・スタディによる需要関数の推定

ケース・スタディとして、以下のような条件のもとで推定を行なう。

機材：YS-11 64座席／機

ロード・ファクター：70% 45人乗／機

潜在需要：500人

運賃：20000円

時間価値：40円／分

一日の営業時間：9時間

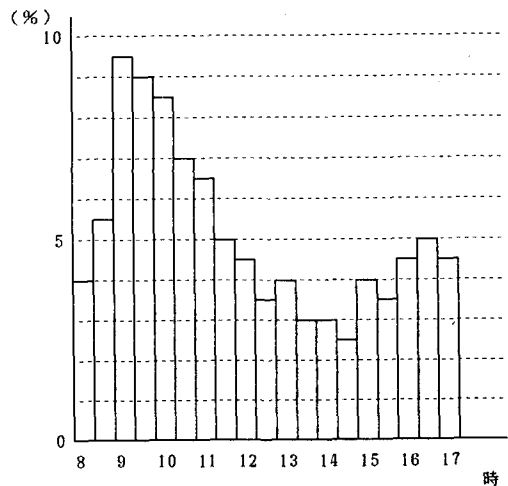
便数を变化させたときの最大ディスプレイメント時間、供給座席数 $q(L)$ 、および図IV-3から $q(N)$ を算出して、 $\text{prob}(h(t))$ を求める。負の効用は、III章で提示した式で表わされるが、計算の簡単のために今回は $g(N, L)$ の効用は省略して以下の式によって計算を行なった。

表IV-2 最大ディスプレイメント時間と便数

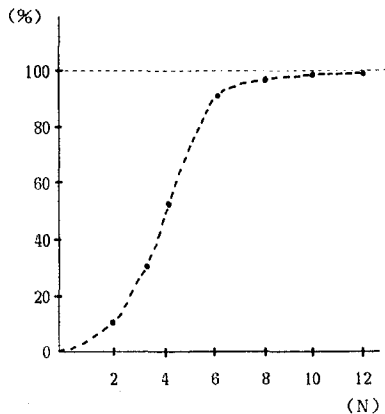
D T m (分)	便数 (N)
120	2
90	3
60	4
45	6
30	10
20	12

$$\rho = p + h(t)1 + h(t)2$$

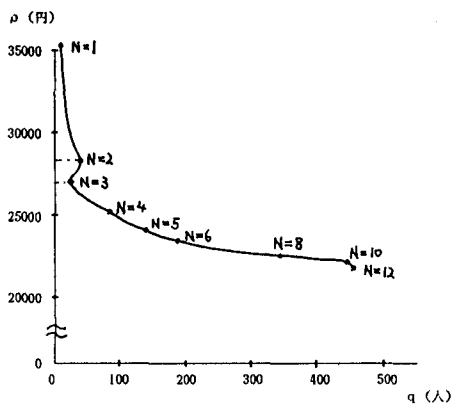
希望の時間に便がないことによる負の効用 $h(t)1$ は、最大ディスプレイメント時間を考えて、その長さ40円／分の時間価値を乗ずることにより求めた。希望の便に乗れないことによる負の効用 $h(t)2$ はその前後の便へのディスプレイメント時間の期待値を求めて時間価値を乗ずることにより算出した。その結果を表IV-3に示してある。ここで、 $q1$ は希望の便に乗れない可能性のある人数で、 $q1 = q(N) \times \{q(N)/q(L)\}$ とする。 k は希望の便に乗れないときの待ち時間である、 $\{q(N)/q(L)\} \times DT_m$ のときの利用率とする。 $q2$ はこのときの他の便に乗る人数の期待値で、 $q2 = q1 \times (k/100)$ である。 $q(N) - q1$ は希望の便に必ず乗れると考えられる人数となる。 q は、最終的な需要であり、 $q = q(N) - q1 + q2$ となる。このようにして算出した ρ と需要 q との関係を描いた需要関数の概形は図IV-5のようになる。



図IV-3 希望時刻分布頻度



図IV-4 運行頻度と需要割合



図IV-5 需要曲線

1. 考察

需要関数の分析結果を考察すると次のことが言えよう。

①表IV-3の $h(t)1$ (希望の便に乗れないことによる負の効用)から、便数の増加によって負の効用が漸減するのではなく、3便のとき増加していることがわかる。これは、2便から3便に増加しても、便の出発時間が利用希望時刻に合わなくなり逆に不便になることを示すものである。

②表IV-3の ρ (希望の便に乗れない人の負の効用+待ち時間による負の効用+運賃)の値は、1便から2便に変化させる効果は大きくそれ以降の便数変化はあまり大きく作用しないことがわかる。

③図IV-5より需要 q と ρ の関係において、消費者余剰は、負の効用が小さく需要が多くなるほど多くなるのであるが、2便導入時と3便導入時を比較して、3便導入時にはそれほど多くなっておらず、需要は逆に減少している。このことから、3便導入は逆効果であり、2便以下、あるいは4便以上の導入がより望ましいことがわかる。また、1便以降、負の効用の低下傾向と需要の増加傾向が一定的であることがわかる。

表IV-3

N (便/日)	1	2	3	4	5	6	8	10	12
D T (時間:分)	4:30	2:15	1:30	1:07	0:54	0:45	0:35	0:27	0:22.5
q (L) (人)	45	90	135	180	225	270	360	450	540
q (N) (人)	18	48	144	268	360	458	490	497	499
q (N) / q (L)	0.4	0.53	1	1	1	1	1	1	0.92
q (N) / D T	1:48	1:12	1:30	1:07	0:54	0:45	0:35	0:27	0:21
h (t) 1 (円)	4320	2880	3600	2680	2160	1800	1400	1080	840
h (t) 2 (円)	10800	5400	3600	2680	2160	1800	1400	1080	900
ρ (円)	35120	28280	27200	25360	24320	23600	22800	22160	21740
q1 (人)	7	25	135	180	225	270	360	450	459
k (人)	8	40	14	50	60	80	99	99.5	99.9
q2 (%)	0.56	10	19	90	135	216	356	448	459
q (N) - q1 (人)	11	23	0	0	0	0	0	0	40
q (人)	12	33	19	90	135	216	356	448	499

V 終わりに

本研究は需要と便数の関係を交通経済学的に分析し、ケース・スタディを通して需要関数を示したものである。本研究の成果をまとめると次のことが言えよう。

①便数の増加が需要に与える影響は経験的に線形ではなく、S字型になっていると言われている。本研究ではそのような場合についての需要関数を交通経済学的に表現する理論式を定式化できたこと。

②実際のデータを用いて、①で述べた需要と便数の関係を確認したこと。

③②のデータを用いて、いくつかの仮定はあるものの、需要関数を描き消費者余剰の点から最適な便数導入の考察ができたことである。

今後の課題は供給関数との関係から、総余剰を考慮したその最適便数決定プロセスを理論化し実証することである。

(参考文献)

- 1.「空港整備長期計画の基礎的調査 報告書」(国内線航空需要動向の国際比較) 財団法人 航空振興財団 Mar.1986
- 2.「COMMUTER AIRLINES AT BOSTON LOGAN INTERNATIONAL AIRPORT 1973-1981」 by Raymond A. Ausrotas and Martin A. Godly FTL REPORT MIT 1981
- 3.「ESTIMATING AIRLINE DEMAND WITH QUALITY OF SERVICE VARIABLES」 by Richard A. Ippolito FTL REPORT MIT 1981
- 4.「IDENTIFYING INDIVIDUAL PREFERENCES FOR INTERNATIONAL AIR FARES」 by David A. Mensher and Jordan J. Louviere FTL REPORT MIT 1983
- 5.「A NUMERICAL INVESTIGATION OF THE IMPACT OF UNCERTAIN DEMAND AND VARYING RISK PREFERENCES ON THE PRICING AND CAPACITY DECISION OF TRANSPORTATION FIRMS: THE CASE OF AIRLINES」 by Warren Powell and Clifford Winston FTL REPORT MIT 1983
- 6.「MATHEMATICAL PROGRAMMING MODELS FOR AIRPORT SITE SELECTION」 by Omer Saatcioglu Middle East Technical University 1978
- 7.「コミューター航空のネットワーク構成に関する研究」 稲野 茂 北海道大学 1986
- 8.「航空運行頻度が需要に与える影響に関する研究」 山本 聡 東工大 1985
- 9.「公共旅客輸送における社会的最適便数」 高速道路と自動車 Vol. 27 No. 6 寺田 一 薫 Jun. 1984