

地方空港における国際航空貨物路線の便数決定に伴うリスクに関する一考察*

Determination of Air-cargo Flights Frequency at Local Airport under the Demand Uncertainty*

石倉 智樹**・佐藤 裕治***・稲村 肇****

By Tomoki ISHIKURA**・Yuji SATO***・Hajime INAMURA****

1. 序論

(1) 研究の背景

日本最大の国際空港である成田は、現在世界第2位の国際航空貨物ボリュームを持つ。(1位は香港)一方で成田は深刻な容量不足という問題を抱えており、新規路線の追加が困難である。航空貨物の需要は、将来も成長が続くと期待されるので、その処理は今後の重要な課題である。

成田空港のヒンターランド、すなわち首都圏における航空貨物需要の受け皿として、付近のローカル空港利用が有効な代替案と考えられる。成田空港から300キロ以内には、国際路線を持つローカル空港が3つ(仙台、福島、新潟)ある。このような地方空港については、東京からの必要陸送時間も圧縮できるので、時間に敏感な航空貨物の輸送システムとして十分に利用可能である。

ところが、現在、東京周辺の地方空港の利用状況は活発ではない。日本総国際航空貨物に対する成田、関西以外の空港のシェアを合計しても5%以下である。先に挙げた東京近郊3空港、仙台、福島、新潟の取扱量合計では、日本の総貨物の1%以下でしかない。

地方空港の貨物取扱量が少ない要因として、潜在需要が少ないことだけでなく、需要予測に伴うリスクが一つの大きな要因である。実需要が予測値を下回ったときのエアラインの利潤への影響が、エアラインの行動へ影響するリスクとなる。航空輸送のサービスレベルの向上は需要増加に寄与するが、サービスレベルと貨物増加量の関係を知ることは困難である。また、航空貨物需要は不確実性を持つので、正確な需要の期待値の予測が可能であると仮定しても、分散の大きさがエアラインにとってのリスクとなる。

成田のように、利用実績があり市場情報の蓄積がある空港への参入については、需要予測に関するリスクが小さいであろう。しかし、ローカル空港への新規参入の場合では、市場情報が少なく、需要予測が失敗する可能性

が高いと考えられる。地上施設などに必要な初期費用の大きさも、エアラインの利潤に影響する。過去の運航実績がない空港へ参入する場合は、特にリスクが大きくなるであろう。

(2) 従来研究および研究の目的

日本の航空市場におけるエアラインの行動を、需給均衡によりモデル化した研究として、黒田ら¹⁾、大橋、安藤²⁾が挙げられる。黒田ら¹⁾は、航空企業と旅客の関係を先導者対追随者の関係として扱い、シュタッケルベルグ均衡問題として均衡旅客量および供給量の決定を行うモデルを構築した。大橋、安藤²⁾は、航空企業、旅客に加えて空港管理者も主体に取り込んだ、主体間の行動に関する均衡モデルを構築した。これらのモデルは経済理論において整合のとれた体系であるが、国際航空ネットワークへの影響力の小さな地方空港をモデルに含むと、計算負荷が甚大となり、実用的ではない。

わが国の地方空港における航空ネットワークを対象とした研究として、稲村、久永³⁾がスケジューリング問題を扱っており、喜多、久木田⁴⁾はエアライン行動モデルにより地域航空ネットワークの成立可能性を議論している。両研究とも、需要が希薄な地域における航空ネットワークの効率化を目的としているが、需要予測に関連する不確実性の影響が考慮されておらず、エアラインの意思決定に関わるリスクを扱うことはできない。

エアラインの供給量決定過程に着目した研究は、米国の規制緩和前後に、その評価のために盛んに行われた。Douglas and Miller⁵⁾は、規制下において旅客の時間費用を明示的に扱った先駆的研究であり、エアラインの便数決定と旅客需要との関連がモデル化されている。De Vany⁶⁾では、独占と寡占の場合におけるエアラインの行動が定式化されており、独占によるサービス水準低下が明示的に表されている。Olson and Trapani⁷⁾は、運賃と供給座席数を操作変数とした、エアラインの利潤最大化モデルを用いてCAB規制による利益の帰着主体を検証している。モデルでは、便数ではなく供給座席数が導出される部分に特徴がある。日本において、田村⁸⁾が消費者余剰の概念を用いて、地方空港における最適便数について分析を行った。これらの研究においても、旅客行動に関する完全情報下でのエアラインの意志決定が前提とされており、

*Key Words 空港計画, 物資流動, 航空貨物輸送, リスク

**学生員 情報修 東北大学大学院 情報科学研究科

***学生員 東北大学大学院 情報科学研究科

****F 会員 工博 東北大学大学院教授 情報科学研究科

〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 06

TEL 022(217)7497 FAX 022(217)7494

リスクの概念は取り扱われていない。現実的には、不完全情報によるリスクの存在がエアラインの意思決定を困難にさせており、この点を考慮する必要がある。

本研究は、需要情報が不確実性を持つ点を強調し、それに伴うリスクがエアラインの機材投入量決定行動に与える影響を把握することを目的とする。本研究では特に、需要予測に伴うリスクとして、需要曲線の形状が特定できないことによるリスクと、確定的に予測された需要曲線の下での実需用の確率的変動によるリスクとを取り上げる。分析では、種々のリスクを想定した状況下における、投入便数対利潤の関係を数値実験による比較を行う。

2. 需要予測に伴うリスク

需要予測は、意志決定前の状況を参考として決定されるであろう。図-1 に示されるように、現状において N_0 の供給量に対して Q_0 の貨物需要がある場合を考える。市場調査により限界需要 MQ を知ることができた場合でも、需要曲線の形状が①であるのか、あるいは②であるかが判別不可能である。航空会社は、需要曲線の形状を予測し、増便、現状維持、減便または撤退という意志決定を下さねばならない。需要に関する完全な情報がなければ、最大利潤を獲得できないリスクが必ず存在する。新規路線参入の場合では、さらに情報量が少なく、リスクは大きいであろう。

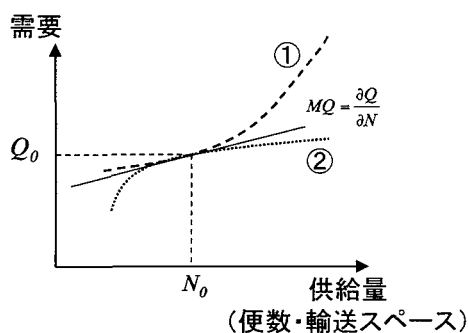


図-1 複数の需要曲線が想定可能な場合

もし供給量と需要の関係が特定されたとしても、予測値と実現値には誤差が生じると考えられる。エアラインは、顕在化する需要の期待値のみではなく、予測誤差の分散によるリスクも考慮に入れるだろう。エアラインがリスク回避的に行動すれば、誤差の分散が意志決定に影響を及ぼす。

本研究は、これら 2 種類のリスクが存在する中での、エアラインの路線便数決定過程を、シミュレーション分析を通じて考察する。需要曲線の形状が不確実であることを前提とするので、分析では、外生的な需要曲線の関数を想定する。需要曲線を与件としたときの、利潤と供給量の関係から、エアラインの便数決定行動を考察する。

3. 需要および利潤の定式化

(1) 需要に関する仮定

航空貨物輸送の荷主、荷主の代理人であるフレイトフォワーダーは、輸送経路決定において貨物の輸送スペースの大きさを重視している⁹⁾。本研究は、エアラインのリスク対応行動に焦点を絞るため、貨物需要を、単純に、路線における輸送スペースのみの関数として表す。ここで、輸送スペースとはペイロードキャパシティ（有償トン容量）の意義で用いており、以降も同様である。

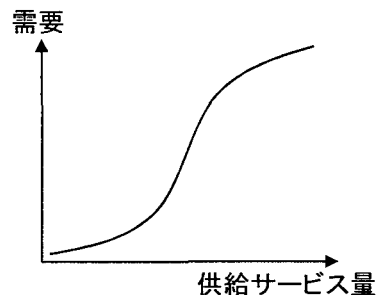


図-2 供給量と貨物需要の S 字型関係

本研究において、航空貨物需要は、田村⁹⁾の研究と同様に、提供サービス数に対して S 字型の曲線として考える（図-2）。供給サービスが少ない状態では、その増加によりサービスレベルが向上することや規模の経済性の影響等により、供給数に対する限界需要は増加すると考えられる。しかし、潜在的な需要限界に近づくと、限界需要も減少する。限界需要変化の予測が、航空会社の供給量決定において最も重要であり、利潤へ直接影響するリスクの大きい段階であると考えられる。

(2) 需要曲線の定式化

本研究では、対象路線において提供される輸送スペース量と顕在化する貨物量との関係を表す方程式を、需要曲線として定義する。需要曲線は輸送スペース量に関するロジスティック関数であると仮定する。すなわち、顕在化需要と輸送スペースの S 字型関係が表現される。

$$x = \frac{a}{1 + e^{b - cs}} + d \quad (1)$$

$$S = \text{Capa} \cdot N$$

$$x \geq 0, N \geq 0$$

ここで、 x : 顕在化する貨物需要（トン/週）、 S : 供給輸送スペース量、 N : 路線便数（便 / 週）、 Capa : 一機あたり貨物輸送容量である。また、 a, b, c, d は関数形を定めるパラメータであり、 a は潜在的需要の限界を表し、 b/c は需要の変曲点を、 c は変曲点における限界需要の大きさを示す。 d は調整用に導入したパラメータである。これらのパラメータを操作することにより、種々の

需要曲線形状，すなわち各路線の航空貨物市場特性が表される。

(3) 航空会社利潤の定式化

a) 予測誤差を考慮しない場合

航空会社の収入と費用との差を利潤 π として(2)式に示す。航空会社の収入は，路線の運賃収入のみを考える。費用は，便数によって変化する可変費用および固定費用から構成される。

$$\pi = px - (C_v N + C_f) \quad (2)$$

ここで， p : 運賃(ドル/トン)， C_v : 可変費用(ドル/便)， C_f : 固定費用(ドル/週)である。なお，このときの航空会社の支出は Doganis¹⁰⁾を参考にして，可変費用として燃料費，技術整備費，空港使用料を，固定費用として人件費，減価償却費，間接運営費を考慮する。

(2)式では， x に確率変数としての概念は含まれておらず，確定的な値として扱われている。すなわち，貨物需要の予測誤差リスクの影響は含まれていない。

b) 予測誤差を考慮する場合

需要の予測値と実現値の誤差は，確率変数として考えられる。この予測誤差の確率分布における分散の大きさも，需要予測に伴うリスクである。本研究は，航空会社がリスク回避的行動を行うと想定し，意志決定プロセスの考え方に期待効用仮説を応用する。

消費者行動における期待効用の理論では，リスク回避的な消費者は消費量の増大とともに限界効用が逓減する。本研究では，この考え方を航空会社の意志決定に応用する。すなわち，航空会社は予測された需要に対して，消費者行動では効用に相当する，ある評価値を持つと想定する。以下，本研究ではこの評価値を，主観的需要評価値 Q と定義する。航空会社がリスク回避的であることは，予測需要に対する限界主観的需要評価値が逓減することで表される。

航空会社は需要予測の誤差を考慮し，(3)式で示される主観的需要評価値の期待値を基準に意志決定を行うと想定する。

$$E[Q(\bar{x}, \sigma)] = \int_{-\infty}^{\infty} f_x(\bar{x}, \sigma) \cdot Q(x) dx \quad (3)$$

ただし， $x \geq 0$

ここで， $Q(x)$: 貨物需要 x に対する主観的需要評価値， $\bar{x}$: 予測需要の期待値， σ : 予測需要の標準偏差， $f_x(\bar{x}, \sigma)$: 実現される需要の確率密度関数， $E[Q(\bar{x}, \sigma)]$: 主観的需要評価値の期待値である。

$E[Q(\bar{x}, \sigma)]$ は，不確実性が存在しない状況下において，予測需要期待値 $\bar{x}$ からリスクプレミアム Δ を差し引いた x^R に対応する主観的需要評価値と等価である。 x^R は確実性等価と呼ばれる値であり¹¹⁾，この需要の達成が確実に保証されれば，標準偏差 σ の不確実性リスク存在下における需要期待値 $\bar{x}$ と同じ主観的需要評価値が得られ

る(図-3)。これらの関係式は，(4)により示される。

$$Q(x^R) = E[Q(\bar{x}, \sigma)] \quad (4)$$

予測誤差リスクの存在を考慮して利潤を算出する場合には，(2)式における需要 x の代わりに，確実性等価として判断される需要予測値を用いる。すなわち，主観的需要評価値 $Q(x^R)$ に対応する確実性等価 x^R が利潤関数に導入される。その結果，(5)式により予測利潤が求められる。

$$\pi^R = px^R - (C_v N + C_f) \quad (5)$$

ここで， π^R は予測誤差リスク下の利潤を表す。

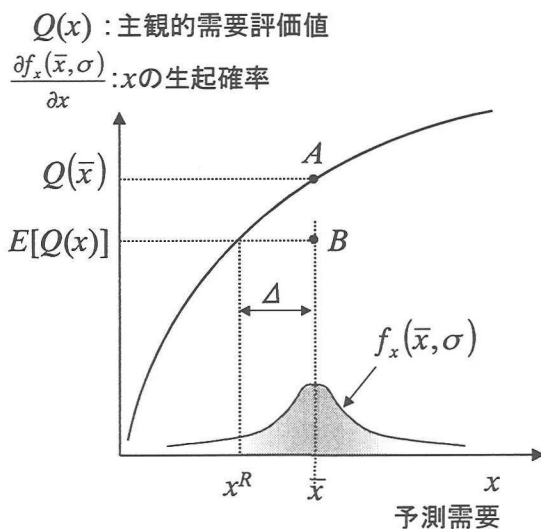


図-3 リスク回避的な主観的需要評価値

4. 需要曲線の形状と投入便数-利潤関係の分析

(1) 初期条件の設定

エアラインはフレイター投入前の実需要を基に，対象とする路線の需要曲線の予測を行う。しかし，その形状の特定化は困難であり，予測失敗のリスクが大きであろう。そこで，本研究では複数の需要曲線を想定したときの投入便数-利潤 (N - π) の関係から，エアラインの便数決定行動について考察する。

本節のシミュレーション分析では，潜在需要の大きさや増便に対する需要増加の性質等が異なる，様々な需要曲線を用いて，フレイター投入便数に対する利潤への影響を数値シミュレーションにより比較する。また，費用構造すなわち可変費と固定費の関係が異なる場合についても考察する。

初期条件としてエアラインは 25 (トン/週) の旅客機ベリーによる輸送サービスを提供し，15 (トン/週) の貨物需要が発生している状況を設定する。すなわち(1)式の条件の下， $(s, x) = (25, 15)$ を通過する需要曲線を想定する。この値は 1999 年の仙台空港の実績値を参考としている。仙台空港では，同年にアジアナ航空によるソウル線フレ

イター（2 便/週）が就航しており、本研究の対象とする地方空港へのフレイター投入問題のモデルとして適当であると判断した。

需要曲線の形状として以下の 5 パターンを想定する。

- ①増便とともに需要が緩やかに増加する。
- ②増便とともに需要が急激に増加する。
- ③多量のサービス供給により急激な需要増加が現れる。
- ④潜在需要が小さい。
- ⑤潜在需要が大きい。

各々のパターンに対して、それぞれに対応する需要曲線 x_1 から x_5 を定義する。このとき、発生需要は(1)式に基づくものとし、さらに輸送スペースの容量制約も考慮する。すなわち、エアラインの獲得する需要は発生需要と輸送容量のうち値の小さな方となり、(6)式で表される。また、フレイター1 便あたりの輸送スペースを 100 トンとする。

$$x_i = \min\left(\frac{a_i}{1 + e^{b_i - c_i s}} + d_i, s\right) \quad i=1,2,3,4,5 \quad (6)$$

これらの需要曲線について、(1)式に表-1 に示されたパラメータを代入して、需要曲線を決定する。これらのパラメータは①から⑤のパターンを表現するために恣意的に与えた値である。

表-1 各需要曲線とパラメータの関係

需要曲線	a_i	b_i	$c_i (\times 10^{-3})$	d_i
x_1	100	2.08	1.39	0
x_2	100	4.05	4.05	10.4
x_3	100	8.10	4.05	14.9
x_4	50	0.73	1.46	-5.5
x_5	200	3.15	1.58	3.1

x_1, x_2, x_4, x_5 については初期条件における限界利潤の値が等しくなる条件を課す。この仮定は、エアラインが需要曲線を正確に予測することは困難であるが、現行の状態においてサービス供給量変化に対する需要変化を把握することが可能であることを意味している。これらの値を代入したときの需要曲線は図-4 で示される。

エアラインの利潤を算出するにあたり、可変費用、固定費用については以下の 3 通りの組み合わせを想定する。これら 3 つの数値例は仮想的な費用構造の例である。しかし実際の費用構造はエアラインの経営戦略形態毎に大きく異なるので、このような極端に異なる費用構造を比較することによりエアラインの行動に関する考察が行いやすくなる。

本節の数値実験では、それぞれの費用構造の場合において、上記の 5 つの需要曲線に対応する投入便数と利潤の関係 ($N-\pi$) について比較を行う。具体的には各費用構造について、需要曲線の推定に不確実性が存在すると

き、予想される利潤の大きさとばらつきが投入便数決定にどのような影響を及ぼすかについて考察する。

$$(C_v, C_f) = (300000, 0), \\ (200000, 10000), \\ (100000, 100000)$$

ただし、 C_v : 可変費用 (ドル/便)、 C_f : 固定費用 (ドル/週) であり、輸送運賃 p は 5000 (ドル/トン) とする。これらの値を(2)式に代入して、供給サービス量を変数とする利潤関数を求める。

フレイターの投入便数は整数であるので、投入便数に対応する利潤については、(2)式の利潤関数において離散的に評価される。フレイター1 便あたりの輸送スペースは 100 トンなので、輸送スペース s が 100(トン/週)毎のサービス水準における利潤の比較が行われることになる。なお、($N-\pi$) 関係を視覚的に把握しやすくするため、数値実験の結果については、便数を連続変数として示す。

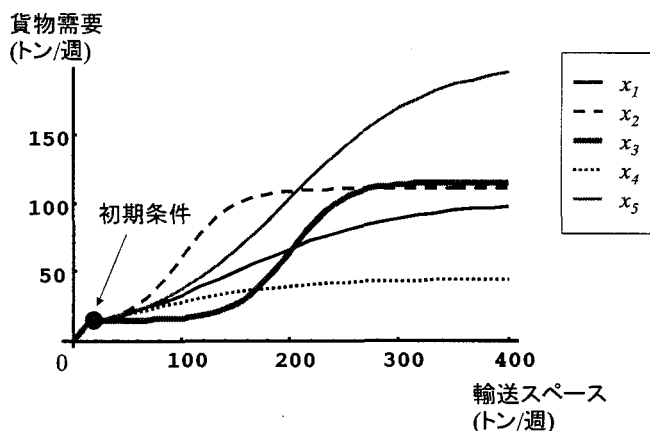


図-4 輸送スペースに対する需要曲線の形状

(2) 数値実験

a) 費用パラメータ(C_v, C_f)=(300000, 0)の場合

この費用構造は、固定費用が 0 であり可変費用が大きいケースを表している。このような固定的な投資を行わない戦略の例としては、機材だけではなく人員のレンタルも利用するウェットリースによるフレイター運航が考えられる。

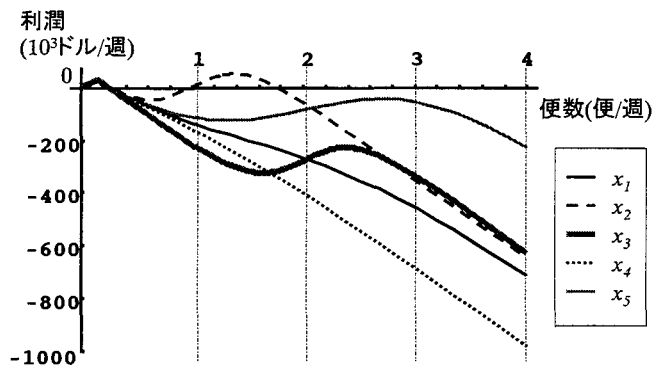


図-5 (C_v, C_f)=(300000, 0)における利潤関数

各需要曲線に対する ($N-\pi$) 関係を図-5 に示す。 $N=1$

(便/週)の投入において需要曲線 x_2 の場合のみ正の利潤が得られるが、その他の需要曲線の場合は負の利潤となる。 $N=2$ 以上の場合では、すべての需要曲線において利潤は負の値をとる。

フレイターの運航頻度を週1便とした場合においてのみ正の利潤が実現可能だが、それは需要曲線が x_2 であった場合のみであり、他のいずれの需要曲線が実現しても正の利潤を得られない。すなわち、正の利潤を得られるか如何は、需要曲線 x_2 の実現する可能性に依存しており、他の需要曲線が生起する確率が大きいと判断されれば、フレイターの投入により損失を被る可能性が高いと認識されることになる。

この例のような、固定費が存在しなくても可変費が大きくなる費用構造は、先に述べたウェットリースのような運行形態のときに生じる。一般に、需要規模が非常に小さな路線やチャーター輸送において、このような運行形態が採用される場合が多い。すなわち、小規模な輸送サービスを行う路線に適した費用構造である。この場合、大規模輸送力を提供するフレイターを可変費用が大きな費用構造で投入する戦略は、大きな損失リスクを伴うため、採択されにくいと考えられる。

b) 費用パラメータ $(C_v, C_f) = (200000, 10000)$ の場合

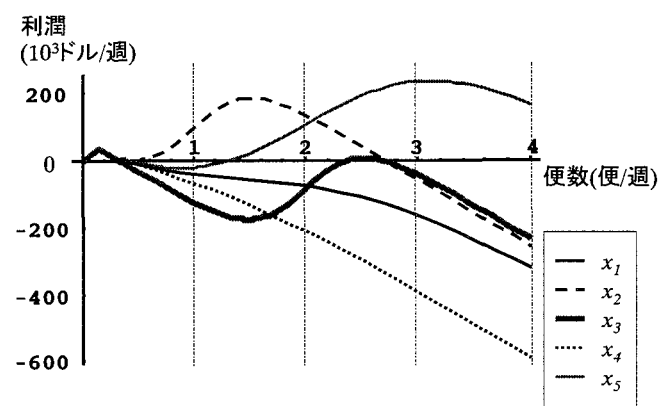


図-6 $(C_v, C_f) = (200000, 10000)$ における利潤関数

この費用構造における $(N-\pi)$ 関係を図-6 に示す。 $N=2$ としたときに、需要曲線が x_2, x_5 の場合であれば利潤は正の値となる。 $N=1, 3$ では、正の利潤が得られる需要曲線が1パターンずつである。これら3つのケースにおいて、5つの需要曲線の正規確率が等しいと仮定すると、利潤の期待値はいずれも0となる。

$N=3$ では、需要曲線 x_5 における予測利潤の最大値となるが、その他の需要曲線における利潤が負の値となり、予測利潤のばらつきも大きい。そのため、 x_5 の需要曲線が実現しなかった場合のリスクが大きい。 N を4以上とすると、いかなる需要曲線においても $N=3$ の場合よりも利潤が小さくなるので、4便/週以上の投入は行われないと考えられる。

以上の結果を考慮すると、この費用構造のケースでは週2便あるいは週3便のフレイター投入の可能性が考えられる。需要曲線の期待値によって投入便数が決定されると考えれば、期待値は需要曲線の生起確率に依存するため、エアラインの需要予測能力が、投入便数の意志決定に強く影響すると言える。例えば、 x_5 が実現する確率が高い路線であると判断されれば、週3便のフレイター投入が行われるであろう。需要曲線の形状に関する情報の重要性が、この分析から確認できる。

c) 費用パラメータ $(C_v, C_f) = (100000, 100000)$ の場合

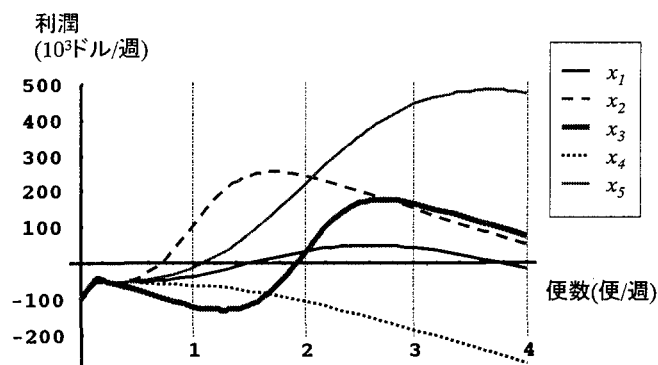


図-7 $(C_v, C_f) = (100000, 100000)$ における利潤関数

この費用構造は、固定費用が大きく可変費用が小さいケースであり、大きな初期投資により規模の経済性がたらくような戦略を想定している。 $(N-\pi)$ 関係は図-7 に示す。 a) の場合と対照的に、フレイターを自社保有して操業するような運航戦略が例として挙げられる。

$N=2$ としたとき、 x_4 の需要曲線の場合のみ利潤は負となる。 $N=3$ においても同様に、需要曲線が x_4 以外全ての場合で利潤が正となるが、関数 x_4 の場合における損失は $N=2$ より大きい一方で、需要曲線が x_1, x_3, x_5 であれば $N=2$ よりも多くの利潤が得られる。

$N=4$ では、需要曲線が x_2, x_3, x_5 の場合に利潤は正の値をとる。このとき、需要曲線 x_5 の利潤が増加する一方、その他の需要曲線における利潤が減少する。週4便となるフレイター投入は採択されにくいと考えられる。

$N=2$ における利潤と $N=3$ の利潤を比較すると、5つの需要曲線の生起確率が等しければ、利潤の期待値がそれぞれ 83474 (ドル/週) と 125007 (ドル/週) となり、週3便のフレイター投入の方が大きい。しかし、予測利潤の分散も $N=3$ の方が大きく、さらに、需要曲線 x_2 または x_4 が実現したときには、 $N=2$ の利潤の方が大きな値となる。

これらの結果を考察すると、生起確率が等しいという前提の下では週3便という便数決定が採択されやすいが、需要曲線の生起確率が異なる場合では週2便の方が有利になる可能性もあると推測できる。また、固定費が大きいため少量の投入では大きな利潤を得られないが、2便

以上の投入がなされると規模の経済性による平均費用低下が影響して利潤が大きくなる。

また、図-6と図-7を比較すると、固定費が小さな費用構造の場合に比べて、 $N=2$ あるいは3としたときに各需要曲線に対する利潤の大きさのばらつきが大きいことが確認できる。すなわち、利潤の見積もりの誤予測に関するリスクが大きいと考えることができるであろう。

d) 総括

これら3ケースの費用構造における数値実験結果を比較すると、本研究の仮定した需要曲線形式では、フレイター投入便数のパターンは大きく二つに分類できる。

第一には、フレイターを一切投入せず、現行の旅客機ベリ-利用のみで貨物輸送を行う場合である。この場合には、新たに費用が発生しないため、リスクも存在しない。しかし、輸送スペースの容量も小さいため大きな需要を獲得することはできず、利潤の水準も低い。

第二の場合は、固定的投資を行うことで可変費用を低下させ、2または3（便/週）という大規模なフレイター投入を行う戦略である。このとき、実現する需要曲線如何で、利潤・損失ともに大きくなりうる。すなわち、エアラインは負の利潤を被るリスクを負ってフレイターを投入することになる。1（便/週）、隔週運行のような低頻度サービスでは、需要が十分に獲得できず、利潤が発生しない可能性が高くなる。

b)の考察でも述べたが、実際の便数決定行動には、需要予測の信頼度が大きく影響するであろう。需要曲線の予測精度には、過去の運行実績や市場分析能力などの、エアライン特有の要因が関わると考えられる。

5. 予測誤差によるリスクと利潤の関係についての分析

(1) 主観的需要評価値および需要の分散値の定式化

需要曲線が特定された場合にも、予測値と実現値との間に誤差が生じる。エアラインは、予めこの予測誤差を考慮して意志決定を行うと考えられる。本節の数値シミュレーションは、予測誤差とフレイター便数決定行動との関係について分析・考察を行う。

まず、(3)式で導入された主観的需要評価値関数 $Q(x)$ を(7)式のように定式化する。

$$Q(x) = \theta \cdot x^\omega \quad (7)$$

θ, ω : パラメータ

θ は評価値の水準を表すパラメータであり、本研究では以後 $\theta=1$ として扱う。 ω はリスク回避の傾向を表すパラメータであり、この値が小さいほどリスク回避の度合いが大きい。エアラインはリスク回避的である場合には、 $0 < \omega < 1$ である。本研究は、需要に関する不確実性に焦点をおくため、 ω についても $\omega=0.2$ と固定して分析を行う。

また、(3)式における予測需要については、確率変数

$f(x, \sigma)$ を正規分布と見なし、標準偏差 σ を(8)式のように仮定する。

$$\sigma = \beta \cdot \bar{x}^\gamma \quad (8)$$

β, γ : パラメータ（双方とも正）

すなわち、予測需要の期待値の大きさとともに分散の大きさも増加する。一般に、需要量が大きいほど期待値に対する分散の相対的大きさは減少するので、 $0 \leq \gamma \leq 1$ となる。

(2) 需要の分散に対する予測利潤の変化

予測誤差リスク存在下における利潤は、(4)、(5)式に表される、確実性等価 x^R を用いた値となる。(3)、(4)、(5)、(7)、(8)式より、予測需要の分散が大きくなれば、 x^R が減少し、誤差リスク存在下の利潤も減少することは自明である。

本節では、予測需要の分散、すなわち予測誤差の分散に対する、投入便数-利潤 ($N-\pi$) 関係の変化について考察する。予測誤差の分散の大きさは(8)式におけるパラメータ β により表す。 β を変化させたときの ($N-\pi$) 関係をそれぞれ示すことにより、需要予測誤差リスクに対する挙動を考察する。

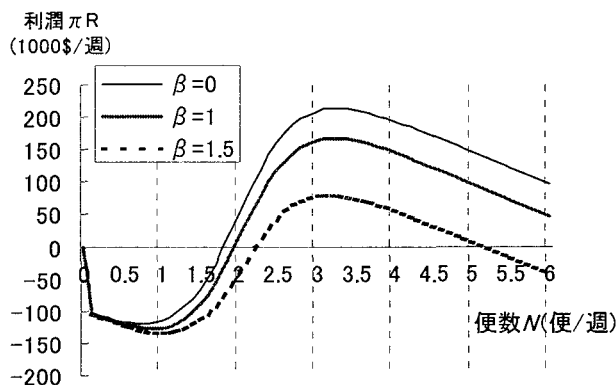


図-8 需要の分散パラメータ β に対する投入便数-予測利潤の関係

図-8に、需要曲線についてのパラメータを、 $a=100, b=5, c=2.5, d=0.67, \gamma=0.8$ としたときの結果を示す。また、貨物運賃 $p=5000$ (ドル/トン)、固定費 $C_F=100000$ (ドル/週)、可変費 $C_v=50000$ (ドル/便) と仮定している。

$\beta=0$ の場合は、需要予測に誤差が存在しないことを表している。 β の値が大きくなるにつれて予測需要の分散が大きくなり、誤差によるリスクが大きくなる。図-8より、予測誤差が大きくなると利潤が低下することが確認される。特に、便数 N が2（便/週）のとき、分散を考慮しない場合 ($\beta=0$) では正の利潤が予測されるが、 $\beta=1, 1.5$ で見られるとおり、需要の不確実性による分散を大きく見積もると利潤は負の値として評価される。

(3) 需要規模が異なる場合における予測誤差の影響

対象とする路線の潜在需要が異なる場合における、投入便数と予測利潤との関係について比較を行う。ここでは、(1)式の需要曲線について、 $b=5, c=2.5$ と設定し、潜在需要を表すパラメータである a を100, 200, 500としたときの、それぞれの場合における利潤への影響について考察を行う。

図-9は、予測誤差が存在しない場合における利潤の最大値に対する、誤差リスク存在下の利潤最大値の割合を示している。すなわち、 $\beta=0$ における利潤最大値を1としたとき、予測誤差パラメータ β が1, および1.5である場合の利潤最大値の水準が表される。

図-9より、リスクを考慮すると潜在需要の規模が小さい需要曲線においては、相対的に利潤が過小評価される傾向にあることが確認できる。このことは、潜在需要の少ない地方空港では、予測誤差のリスクの影響が相対的に大きいということである。リスク回避的な行動規範を持つエアラインは、需要規模の小さな路線では予測誤差のリスクも重要視し、予測利潤を少なく見積もると考えられる。

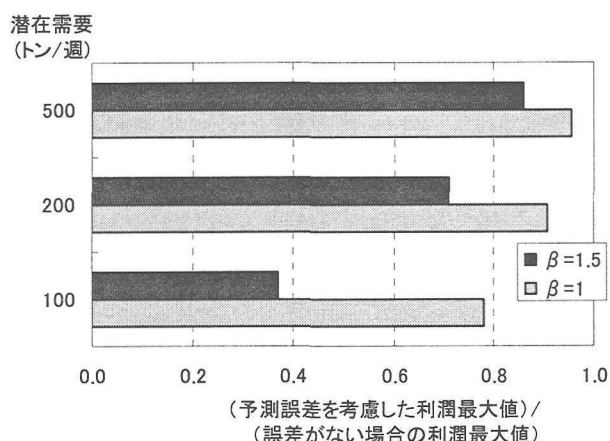


図-9 予測誤差による利潤減少割合の比較

6. 考察：仙台空港フレイター就航事例と比較して

前章まででは、仮説的な需要曲線とエアラインの需要構造を前提とした数値シミュレーション分析を行った。本章では、実際にフレイターが投入された仙台空港における事例と比較して、分析結果の考察を行う。

仙台空港では、1999年にアジアナ航空によりソウル行きフレイター路線が開設された。使用機材のB747Fは約100トンの輸送容量を持つ。運行頻度は2(便/週)であり、同路線では旅客便がデAILYー運航されている。

フレイターが投入される以前の仙台空港では、輸出入とも貨物取扱量が毎月約100トン(25トン/週)であった。この値は、本研究の数値シミュレーションにおいても参考としている。この状況下においてアジアナ航空がフレイターを2(便/週)投入したことは、需要が顕在化せず赤字運航となるリスクを負うことを選択したということである。

フレイター投入の結果、仙台空港での航空貨物取扱量は約6倍に増加した。結果的にはフレイター投入によるサービスレベル増加が、需要の吸引力となることに成功したと言える。しかし、フレイター投入空港の候補となる地方空港としては、他の地方空港である名古屋、福岡、新潟などが考えられる。仙台空港へフレイターが導入された理由について、本研究で取り扱ったリスクと関連して考察する。

アジアナ航空は成田への臨時便フレイター乗り入れが制限されたために、代替路線として仙台と関西の両空港へフレイターを乗り入れたと言われている。これらの2空港を東西日本の航空貨物集荷拠点とする戦略である。仙台では、フレイター就航以前からアジアナ航空の始点が設置されており、新たに必要となるサンクコストが低く抑えられた。このことが、コスト面における初期費用損失リスクを減少させ、フレイター投入を容易にさせたと考えられる。さらに、旅客便による運航実績があることが、需要曲線の予測へ有利に作用したと考えられるであろう。すなわち、航空貨物流動の観察データが経験的学習となり、需要予測を誤るリスクを減少させたと言える。

仙台は東北地方における商工業の中心地であり、同地域において最大の貨物輸送需要の起点である。既成の貨物集配拠人も他の東北地方の空港に比べて大きな規模で立地しており、陸上の貨物拠点としての能力を備えていたことも参入の一要因を担ったと考えられる。

上記のような経営面での要因に加え地理的要因として、仙台空港は首都圏から最も近い地方国際空港の一つであるので、東北地方のみではなく首都圏を発生地とする貨物需要の獲得についても有利である。首都圏を発地とする貨物のシェアは、地方部に比べて大きい。首都圏発着貨物の輸送ルートがシフトし、地方空港において需要が顕在化するためにはサービスレベルの向上が必要となる。そのため、陸送距離の大きさが直接予測誤差リスクに影響し、首都圏から遠い位置にある空港では、予測需要の不確実性が大きくなる。このような地理的要因も、フレイター投入空港選択に影響しているであろう。

7. 結論

本研究は、需要に関するリスクを考慮し、地方空港におけるフレイター投入便数決定行動の特徴について考察を行った。需要曲線が複数想定される場合の投入便数対利潤関係および、需要予測誤差のばらつきに対するエアラインの利潤評価を通じて、リスク存在下におけるエアラインの便数決定行動を推測した。

シミュレーションによる数値実験の結果、費用構造の特徴によって有利な運行戦略が異なることが確認された。固定費用が小さく可変費用が大きな場合には、小規模な投入戦略のみが利潤を獲得可能であった。固定投資が行われ可変費が小さな場合には、多便数とすることにより

大きな利潤を得られる可能性は高いが、需要曲線の誤予測によるリスクも大きいことが示唆された。また、潜在需要の規模が小さな空港では、予測誤差によるリスクが大きく評価されるという結果を示すことができた。

一般に、需要予測を基にする意志決定に関する問題では、予測された値のみについて議論されることが多い。本研究は、需要不確実性によるリスクが、予測値の大きさ以上に重要な要因となりうることを示した。本研究の成果を踏まえると、地方空港において需要を獲得する、すなわちエアラインに就航地として選択されるためには、費用面ならびに需要面についてのリスクを軽減させるような政策が有効であると考えられる。費用面について、可変費を圧縮するために必要な初期投資を公的部門が負担することで損失リスクが軽減され、多頻度の便数投入を期待することができる。需要面のリスクについては費用面よりも対策が困難であるが、荷主の動向に関するサーベイの実施およびその情報公開などが一例として考えられる。

参考文献

- 1) 黒田勝彦, 竹林幹雄, 三保木悦幸: シュタツケルベルグ均衡による国内航空ネットワーク分析, 土木計画学研究・論文集, No.14, 757-763, 1997
- 2) 大橋忠広, 安藤朝夫: 航空市場でのハブ・スポークネットワーク形成と空港使用料政策に関する研究, 土木学会論文集, No.611/IV-42, 33-44, 1999
- 3) 稲村肇, 久永健一郎: 航空機材スケジューリングのた
- めのニューラルネットワークの開発, 土木学会論文集, No.536/IV-31, 9-21, 1996
- 4) 喜多秀行, 久木田真次: 地域航空ネットワークの成立可能性に関する一考察, 土木計画学研究・論文集 No.13, 687-694, 1996
- 5) Douglas, G. W. and Miller, J. C. III: Quality competition, industry equilibrium, and efficiency in the price-constrained airline market, The American Economic Review, vol.64, No.4, 657-669, 1974
- 6) De Vany, A. S.: The effect of price and entry regulation on airline output, capacity, and efficiency, Bell Journal of Economics, vol.6, 327-345, 1975
- 7) Olson, C. V. and Trapani, J. M.: Who has benefited from regulation of the airline industry?, Journal of Law and Economics, vol.24, 75-93, 1981
- 8) 田村亨: 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, 1989
- 9) 福田和光, 石倉智樹, 稲村肇: フレイトフォワードの行動に着目した輸出航空貨物の輸送経路特性, 土木計画学研究・講演集, No.23(2), 617-620, 2000
- 10) Doganis, R.: 国際航空輸送の経済学, 成山堂書店, 1988
- 11) 野口悠紀雄, 藤井真理子: 金融工学, ダイヤモンド社, 2000

地方空港における国際航空貨物路線の便数決定に伴うリスクに関する一考察*

石倉 智樹**・佐藤 裕治***・稲村 肇****

成田空港における容量限界の影響により、地方空港を利用したフレイター（貨物専用機）による国際航空貨物輸送が有効であると考えられる。後背圏の需要規模が小さな地方空港において、エアラインの参入および投入便数決定には需要不確実性によるリスクが強く影響するであろう。本研究は、需要予測に伴うリスクが存在する下での投入便数対利潤の関係をシミュレーション分析し、エアラインの意思決定に及ぼす影響を考察した。結果より、小規模なフレイター投入戦略が採択されにくいこと、需要規模の小さな空港ほど予測誤差のリスクが強く影響することが示された。

Determination of Air-cargo Flights Frequency at Local Airport under the Demand Uncertainty*

By Tomoki ISHIKURA**・Yuji SATO***・Hajime INAMURA****

The capacity limitation of New Tokyo Int'l Airport will make the freighter service to the local airports an effective alternative for international air-cargo. The risk originated in demand uncertainty affects airline's determination of entering and the flight frequency in the local airport. This paper analyzes the relationship between flight frequency and airline's profit under demand uncertainty and considers the influence of the risk. The results imply that low frequency service strategy tends to be avoided and the less level of demand at the airport the stronger the risk influences.