

地域に複数の空港は必要か

- アクセスコストと輸送密度の経済性を考慮した航空旅客市場モデル分析 -

大橋忠宏* 安藤朝夫**

本稿の目的は、航空旅客輸送における輸送密度の経済性とアクセスコストを明示的に考慮したモデルにより、旅客のアクセスコスト減少を目指した複数空港の整備が社会的には必ずしも望ましくないなど、ローカル戦略がグローバル戦略と相反する効果を持つことを示すことにある。数値分析から(1) 輸送密度の経済性の上昇は、航空会社にとって、ある程度まではハブ・スポーク型の運航パターンを有利にすること、(2) 個人のアクセスコストの減少を目指して複数空港をおくことは、必ずしも当該地域の社会的厚生を改善しないこと、などが示される。

Are the Plural Airports Necessary in the Region? : Numerical Analysis of the Aviation Markets Considering Access Cost and the Economies of Traffic Density

Tadahiro OHASHI* Asao ANDO**

The purpose of this paper is to show numerically that the development of plural airports in a country for purpose of decreasing the access cost is not desirable from the viewpoint of not only social surplus but also a concerned country's surplus compared with the development of one airport in a country considering the economies of traffic density and access costs. Simulating the model, we could summarize the results as follows. (1) Increase in supply-side's economies of traffic density is to makes the emergence of the types of hub-and-spoke network profitable. (2) Working the economies of traffic density, development of plural airports in a country for purpose of decreasing access cost is not desirable from the viewpoint of not only social surplus but also a concerned country's surplus compared with one airport in a country.

1. 研究の背景と目的

国際航空輸送を取り巻くアジア地域での各国の空港施設整備の動きは非常に活発である。日本でも関西空港の二期工事や中部国際空港の建設、羽田空港

の拡張などの空港整備が行われている。一つの空港を整備するのに比べて複数空港の整備は、住民の空港までのアクセスを容易にするが、路線・運航頻度を分散させることにつながるため、輸送密度の経済性による不利益を生じることになる。空港整備を行う上で、この相反する効果を併せて考慮した計画の立案・実施が必要不可欠である。

以上のことを分析する場合、空港後背地の空間の考慮に加えて、一地域に複数空港が立地することを想定する必要がある。しかしハブ機能等に関する研究では、たとえば、後背地域の域内空間を考慮した

* 弘前大学人文学部准教授

Associate Professor, Faculty of Humanities,
Hirosaki University

** 東北大学大学院情報科学研究科教授

Professor, Graduate School of Information Sciences,
Tohoku University

原稿受理 2007年4月26日

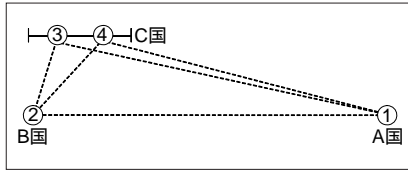


Fig. 1 分析の枠組み

研究例であるFujita and Mori³⁾では移出入ノードの後背地内の空間は考慮されるが、複数ノードについては検討されていない。この他、域内空間は捨象されているが、交易ルートを内生的に扱うことでハブ機能誘致の可能性を検討したKonishi⁶⁾やMori and Nishikimi⁸⁾、航空ネットワークを内生的に扱うことでハブ出現の可能性について検討したHendricks et al.⁴⁾や大橋・安藤¹⁰⁾においても複数ノード、あるいは複数空港の立地可能性については扱われていない。なお、Konishi⁶⁾やMori and Nishikimi⁸⁾ではハブ機能誘致に関する検討は行われるが、運輸市場の寡占性は考慮されておらず、ただちに航空輸送等へ援用することは難しい。より最近では、空間競争に関して、黒田⁷⁾が空港収支制約の下で所得税率と空港使用料のtrade offについて検討しているが、上記と同様に複数空港は考慮されていない。しかしながら最初に述べたように、現実にはハブ機能誘致をめぐる空港間競争は従来の枠組みで検討されるような1国1ノードの下で行われているわけではない。日本のように複数ノードを整備している国でもハブ機能の誘致と空港へのアクセス等に関連付けた総合的な議論は、理論的に殆ど検討されることはなかったと言えよう。

本研究では以上の問題意識のもとで、航空旅客輸送における輸送密度の経済性とアクセスコストの関係を示明的に考慮することで、旅客個人のアクセスコストの減少を目指して複数空港をおくことが必ずしも社会的余剰等の面から望ましくないなど、ローカルな整備がグローバル戦略と相反する効果をもたらすことを示す。

2. モデル

2-1 モデルの枠組みと仮定

モデルでは、Fig.1に示す隣接する2国B、Cとそれらと相対的に遠距離にあるA国を考える。A、B国にはそれぞれ空港1、2が存在する。A、B国の国内空間は捨象するが、C国はA、B国と比較して国内空間が無視できないものとし、長さ1の線形空間で近似できると仮定する。C国には空港3以降の

複数空港が建設可能であり、人々は線分上に一様分布していると仮定する。また各国に1社ずつのフラッグキャリアが存在し、以遠権は認められていないとする*1。

次に、輸送密度の経済性が働くことを想定し、

$$MC(Q^l) = (1 - \alpha \cdot Q^l) \cdot t^l, \dots(1)$$

$$OC(Q^l) = \left[1 - \frac{\alpha}{2} \cdot Q^l \right] \cdot t^l \cdot Q^l$$

Q^l : リンク l の輸送密度

t^l : リンク l のラインホール時間

$MC(Q^l)$: 限界費用

$OC(Q^l)$: 運航費用

を仮定する*2。輸送密度 Q^l の増加は α を正のパラメータとして限界費用 MC を単調減少させることを想定する。

空港立地に関して、C国に複数の空港が建設される場合、アクセスコストに関して社会的に最適にな

* 1 単純化のため、A国にはa社が存在し、B国にはb社、C国にはc社のみ存在する状況を考え、自国の空港を離発着する路線のみで運航が認められることを仮定している。最近では、オープンスカイ政策に代表されるように国際航空輸送においても自由化が進められている。ただし日本や日本近隣の韓国などを見ると、以遠権が認められても実際の運航でそれほど多くの第三国経由便が設定されているわけではないと言えよう。さらに、日本国籍の航空会社が仁川国際空港を、あるいは韓国国籍の航空会社が成田空港をハブ空港として利用しているわけではない。航空会社の数については複数社存在するが、参入企業数の多寡により、若干の市場支配力の差は生じるものの、議論の本質には影響を与えないと考える。以上の観点から、日本近隣を見る限りではこの仮定は容認されよう。

* 2 Brueckner and Spiller¹⁾では、 $MC(Q^l) = 1 - Q^l$ の特定化により輸送密度の経済性が考慮され、費用は運航距離に依存しない。同様にBrueckner and Spiller¹⁾を元に行っている研究(たとえばNero⁹⁾やZhang¹¹⁾、Hendricks et al.⁴⁾)では、運航距離に関して検討は行われていない。しかし現実には、費用が運航距離に依存しないと考えることは不自然であろう。

さらにBrueckner and Spiller¹⁾などの先行研究でも同様であるが、式(1)の定式化では、 $Q > 1/\alpha$ のとき $MC < 0$ となる。ゆえに、路線需要が多くない範囲($Q < 1/\alpha$)でのみ適用可能なモデルであることに留意する必要がある。

関数特定化については議論の余地が残されているが、本研究では簡単のため式(1)のような想定の下で分析している。なお、航空旅客輸送における輸送密度の経済性の程度について実証的に検討したBrueckner and Spiller²⁾では、運航距離に依存する費用関数の想定がなされており、限界費用の定数項の一つの要因として考慮されている。

るように立地計画が行われることを仮定する*3。

旅客の一般化費用 $COST_{ij}$ は式(2)に示すように、出発地*i*から発空港までのアクセスコストと着空港から目的地*j*までのイグレスコストに、運賃とスケジュールコスト、所要時間を加えたものであると仮定する。さらにアクセス/イグレスコストは移動距離の増加関数であり、かつ空港数の減少関数であるとする*4。スケジュールコストは路線の輸送密度に依存するものとする。簡単のため、経路選択は費用が最小となる場所が選択され、複数の経路で費用が等しくなることはないものとする*5。

$$COST_{ij} = ACT(n_i) + EGT(n_j) + \min \left[p_{ij} |_{R(i,j)} + \dots \right] \dots\dots(2)$$

ここに、 $R(i, j)$ はODペア(*i, j*)が与えられた下でのルート(リンクと航空会社の組み合わせ)に含まれるリンクとし、 $n_i, ACT(n_i), EGT(n_j), p_{ij}$ はそれぞれ*i*国の空港数、*i*国でのアクセスコスト、*j*国でのイグレスコスト、*ij*間を利用するときの航空運賃(利用するルートに依存)である。さらに (> 0)は需要側の輸送密度の経済性の程度を表現するパラメータでスケジュールコストのパラメータとしても解釈さ

れる。 (> 0)は時間価値パラメータである。なお、アクセス/イグレス費用は国内空間を無視できないC国でのみ正の値をとり、A, B国では0とする。

OD交通量は式(3a)~(3c)に示すように、所与の潜在的OD交通量を最大として、一般化費用に関する線形の単調減少となることを仮定する。ただし、一般化費用は最も費用の安いルートのもが適用される。

$$OD_{AB} = \overline{OD}_{AB} - COST_{AB} |_{R(i,j)} \dots\dots(3a)$$

$$OD_{BC} = \overline{OD}_{BC} - COST_{BC} |_{R(i,j)} \dots\dots(3b)$$

$$OD_{AC} = \overline{OD}_{AC} - COST_{AC} |_{R(i,j)} \dots\dots(3c)$$

ここに、 $\overline{OD}_{ij}, OD_{ij}, COST_{ij}$ はそれぞれ*ij*間の潜在的OD交通量、*ij*間のOD交通量、*ij*間に必要となる旅客の一般化費用、正のパラメータとする。

社会的厚生*6は式(4a)に示すように、消費者余剰と企業利潤の和として表されるものとする*7。

$$W = \sum_{i=AB,AC,BC} \left[\frac{\overline{OD}_{ij}}{COST_{ij}} OD_{ij} dCOST_{ij} \right] + \dots \dots(4a)$$

W : 社会的厚生

$COST_{ij}^*$: 均衡でのODペア*i*の一般化費用

j : 航空会社*j*の利潤

さらに、各旅客市場(AB間、BC間、AC間)での旅客の国籍構成は出発国籍の者と到着国籍の者が同数であると仮定すると、C国内の厚生は次のように表される。

$$W_c = \sum_{i=AC,BC} \left[\frac{1}{2} \frac{\overline{OD}_{ij}}{COST_{ij}} OD_{ij} dCOST_{ij} \right] + \dots \dots(4b)$$

2-2 想定されるタイプ

想定されるタイプはFig.2のように表現される。ここで、国内輸送費は国際間輸送費と比較して、相対的にかなり低いことを想定する。さらに、C国に関する線形空間、人口一様分布、空港は住民のアクセスコストの期待値が最小となるように配置される

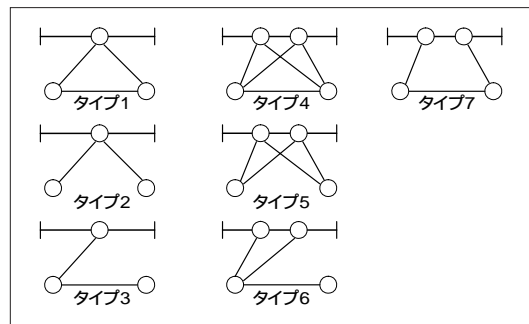


Fig. 2 想定される航空ネットワークのタイプ

* 3 すなわち、空港が一つの場合は線分の中点、二つの場合には両端からそれぞれ1/4のところに立地させるものとする。現実的には空港配置は歴史依存であり、まず既存の空港が存在し、次に空港へのアクセスの利便性あるいは空港の狭隘化を理由に新設、拡張することを想定するのが自然である。このとき、政府がアクセス費用について社会的に最適な配置を考える場合には、国土の人口重心に既存空港が配置され、新規の空港建設については、既存空港を与件として次善の施設配置が行われる。さらに、新規に建設される空港と既存空港で路線・便数を均等に配分することはほとんどなく、現実には新規空港はフィーダー輸送を中心とした運用がなされる。ただしこのような想定は人口の再配置メカニズムなどを考える必要があり、分析の際には非常に複雑になるのでここでは簡略化している。これらについては今後の課題としたい。

* 4 厳密にはアクセス/イグレスコストは利用するアクセス交通機関の混雑に依存するが、ここでは単純化している。

* 5 この仮定により、経路選択の問題を回避することが可能となる。実証分析を行うことを考えるときには、複数のルートが想定可能な場合にall or nothingの配分を考えることは非現実的であるが、仮想的な状況での理論的な検討を行うような場合にはある程度許容できよう。

* 6 ここでは旅客の航空サービスへの支払い意思額と実際の価格の差の総和として定義される消費者余剰と、航空会社の利潤との和として定義される。

* 7 モデルの拡張として空港建設費を明示的に考慮する場合には、(4a) (4b) 式の右辺に空港建設費に関する項を追加することで対応可能である。

Table 1 外生変数とパラメータ

外 生 変 数	\overline{OD}_{AB} : AB間の潜在OD交通量
	\overline{OD}_{BC} : BC間の潜在OD交通量
	\overline{OD}_{AC} : AC間の潜在OD交通量
	$ACT(n, \lambda) = EGT(\cdot, \cdot)$: アクセス(イグレス)コスト
パ ラ メ ー タ	t : 路線 <i>l</i> でのラインホール時間
	d : 単位距離当たりのアクセス(イグレス)費用
	(>0): 費用のOD交通量への弾力性パラメータ
	(>0): 需要側の輸送密度の経済性パラメータ
	(>0): 供給側の輸送密度の経済性パラメータ
	(>0): 時間の費用換算パラメータ

という仮定から、C国に配置される空港が一つの場合も二つの場合も、基本的にすべてのトリップが直行便である場合、AB間についてC国を経由する場合、AC間についてB国を経由する場合の3タイプの2通りである。さらに相対的にC国内移動が国際移動に比べて小さい場合には、非対称な場合も想定される。すなわち、タイプ7のような二つの空港がそれぞれA国、B国へのゲートウェイ空港となる場合である。このとき、ノード3がA国の、ノード4がB国のゲートウェイであっても、その逆のノード3がB国の、ノード4がA国のゲートウェイであっても本質的な違いはないので、その内のどちらか片方のタイプは省略して考えることができる。ただし現実的には、国内移動のための費用は、金銭的には国際移動に比べて相対的に非常に小さくても、空港間の移動および空港から国内移動のための交通機関までのアクセス・イグレスのための時間費用は、無視できるほど小さいわけではなく、かなり大きいことは容易に想像されよう。

以上のように、C国に一つ、あるいは二つ空港がある場合のネットワークパターンは全部で7通り想定することができる。なお、国内移動のための費用が限りなく0に近い場合には、A(B)国からB(A)国へ向かう場合にC国内の空港3(あるいは空港4)に着陸して国内移動モードを利用してC国内の空港4(あるいは空港3)から出発する方法も考えられるが、国内移動のための費用が0の場合のタイプ5と本質的に違いはないのでタイプの想定からは除外する。

ただし、以上の議論はあくまでも可能性についての指摘のみで、ある特定のパラメータ設定の下で想定したタイプすべてが存在する保証はない。

なお、拡張として空港発着枠に関する制約をモデルで表現するとき、古くからある2国間協定を想定する場合には、路線毎に各会社に供給量の上限を与える制約を考慮することで対応できる。さらに、近

年の航空自由化を想定する場合には、各航空会社に発着枠の上限を与え、発着枠の路線間への配分は航空会社の判断にゆだねるような制約として考慮することでモデルに取り込むことが可能である。

3. 数値分析

3-1 分析の設定

ここでは、前述のモデルを使った数値分析について説明する。本研究の目的は航空輸送、特に空港整備計画におけるグローバル・ローカル問題の存在を示し、新規の空港建設が必ずしも社会的厚生を改善するわけではないことを示すことである。ここで構築したモデルの内、タイプ1、4、7については解析的に均衡解を計算することが可能であるが、必ずしも実行可能解が得られるわけではない。さらに、他のタイプについては解析的に均衡解を計算することはできない。したがって、社会的厚生の比較を行うためには数値的に解を計算する必要がある^{*8}。

まず、パラメータと外生変数はTable 1のように整理される。Table 1を元に数値分析を行うための外生変数の条件設定について説明する。まず、簡単のため潜在的OD交通量はすべてのODで同じであるとす。次にアクセスコストについては、C国内でのみ無視できないことを仮定している。このときC国には人々が長さ1の線分上に一様分布しているという仮定に加えて、アクセスコストが単位距離当たり $\alpha (>0)$ であると仮定する^{*9}。ラインホール時間は簡単化のため、 $t^{12}=t^{13}=t^{14}=1$ 、 $t^{23}=t^{24}=t$ (0,1)のように設定する。ここで、リンクは始点と終点のノード番号により表記している。このとき、 t は仮定に矛盾しないよう、1より十分に小さい値を設定する。以上の設定の下で、旅客の費用に占めるアクセスコストの相対的な上昇、あるいはBC間の距離の変化が消費者余剰や社会的余剰、航空市場の運航パターン等に与える影響を見ることで主題に接近する。

3-2 各タイプの解の存在範囲

前項の設定の下で、分析では、BC国間距離*l*の変化、旅客の一般化費用に占めるアクセスコストの相対的大きさ*d*の変化、潜在的OD交通量の変化による効果を通じて解の性質を検討できるようなパラメー

*8 今回は解析的に得られる定性的な性質については検討していない。これについては今後の課題としたい。

*9 C国でのアクセス/イグレスコストの平均は、タイプ1~3は $d/4$ 、タイプ4~6は $d/8$ 、タイプ7は $5d/16$ と計算される。

タセットの下で数値分析を行っている。その結果を元にして解の存在する領域を整理したものをFig.3に示す。Fig.3では、縦軸に需要側の輸送密度の経済性の程度を表すパラメータ、横軸に供給側の輸送密度の経済性の程度を表すパラメータをとったものに、今回想定可能なタイプ1~タイプ7毎に解の存在する領域の境界線を示している。各タイプの境界線より下側で解が観測される。ただし、Fig.3の作成では、それぞれ0.01刻みで計算した結果を利用している。図3(a),(b),(d),(e)ではタイプ4、5の解は出現せず、図3(b),(d),(e)ではタイプ6の解は出現しなかった。

Fig.3の全体を見ていくと、今回の計算での解の存在範囲について、直行便のみのルートで構成されるタイプ1、4、7ではの増加とともに増加している。同様に、経路便のルートが含まれるタイプ2、

3、5、6ではの増加とともに、一度増加して途中から減少、あるいは常に減少している。直行便のみのルートから構成されるタイプ1、4、7の解の存在範囲を見ると、の上昇とともにC国に空港を二つ持つタイプ4、7は出現しにくくなる。特にタイプ1とタイプ7の本質的な違いはアクセスコストの差となるが、同じの下ではアクセスコストの平均値の大きいタイプ7はタイプ1より常に解の存在範囲は小さくなっている。経路便を含むルートから構成されるタイプ2、3、5、6の解の存在範囲を見ると、の上昇、すなわち輸送密度の経済性が大きくなるほど、C国に2空港があることを想定したタイプ5、6は出現しにくくなっている。これらを総合すると、需要側の輸送密度の経済性の上昇、すなわち旅客がトリップ費用に占めるスケジュールコストを重視するほどC国に空港が一つのみ存在す

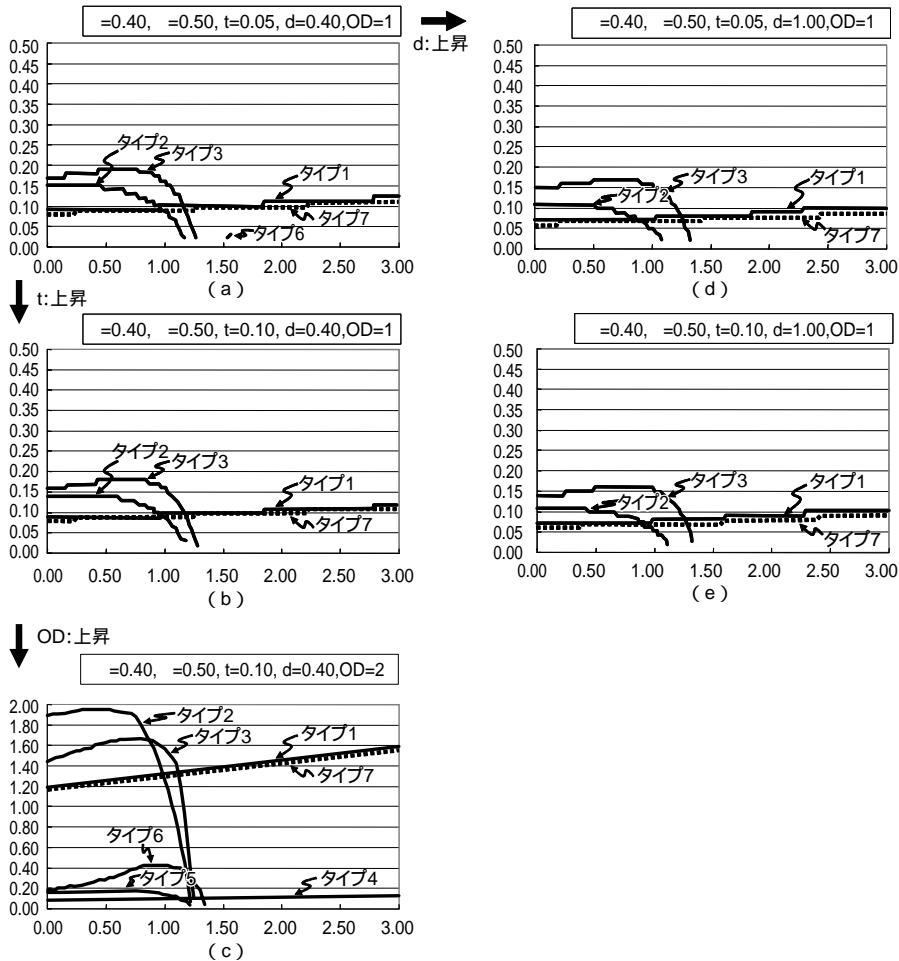


Fig. 3 各タイプの解の存在範囲の境界：境界より下部分に解が存在

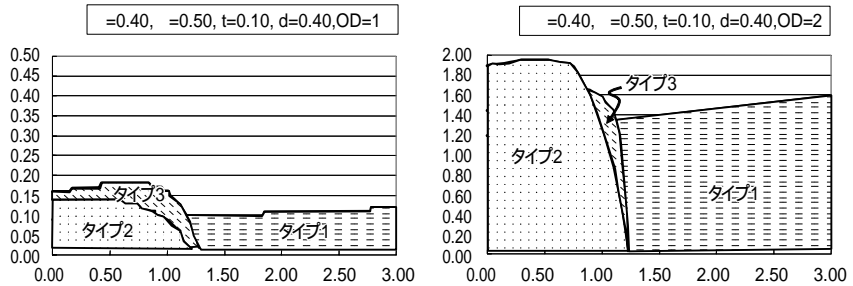


Fig. 4 C国の社会的厚生 W_c の最も高くなるタイプの抽出結果

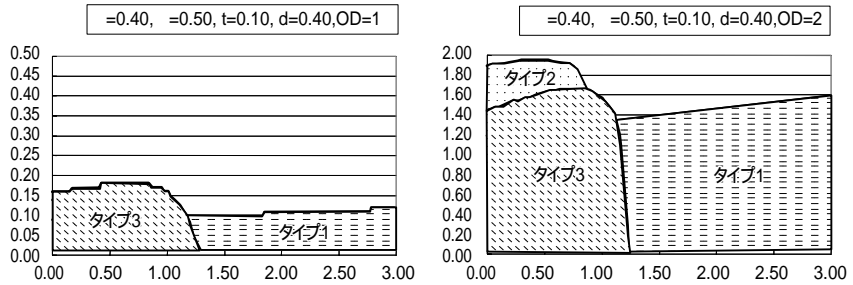


Fig. 5 全体の社会的厚生 W の最も高くなるタイプの抽出結果

るタイプが出現しやすくなり、C国に2空港存在するタイプが出現しにくくなるのがわかる。なお、需要密度増加による旅客当たり輸送費用低下効果が非常に大きい(Q が約1.3を超える領域) 場合、ハブ・スポーク型の運航パターンが出現しなくなる。これは式(1)の定式化に起因するもので、 Q が非常に大きい場合には $Q > 1/\alpha$ 、すなわち $MC < 0$ となるため実行可能解が存在しなくなるためであると考えられる。

ここで、アクセスコスト d の増加は、すべてのタイプでアクセスコストを無視できないC国発着の旅客需要を減少させるため、全体的に解の存在範囲を小さくする効果を持つ^{*10}。特にC国をハブとする運航パターンを持つタイプ2の解の存在範囲を減少させる効果が大きいと言える^{*11}。

次に、BC国間の距離 i の増加、すなわち旅客の所要時間及びBC間での単位当たり運航費用の増加は全体的に見て、解の存在範囲を小さくする効果を持つことがわかる。

3-3 C国・全体から見て望ましい運航パターン

解の存在する領域の中で、社会全体あるいはC国から見て望ましい運航パターンについてFig.4, 5を元に見ていく。Fig.4はFig.3(b)(c)でパラメータ(,)の組み合わせについて存在する解のうち、最もC国の社会的厚生 W_c を高くするタイプを示したもので

ある。Fig.5はFig.3(b)(c)でパラメータ(,)の組み合わせについて存在する解のうち、最も全体の社会的厚生 W を高くするタイプを示したものである。

まず Q が1.3前後よりも小さい領域では、 Q が相対的に大きい場合には経路便を含む運航パターン(タイプ2, 3)のみが出現し、 Q が相対的に小さい場合には経路便を含む運航パターン(タイプ2, 3, あるいはタイプ2, 3, 5, 6)と直行便のみからなる運航パターン(タイプ1, 7, あるいはタイプ1, 4, 7)が混在することがわかる。これらの領域ではFig.4, 5からC国の厚生で見ると、経路便を含む運航パターンの方が直行便のみからなる運航パターンよりも望ましく、経路便を含む運航パターンの中でもタイプ2の方がタイプ3よりも大きくなる領域が広いことがわかる。社会全体の厚生 W についても、これらの領域では経路便を含む運航パターン

*10 実際には、A、B国においても国内空間があり、それとの相対的な問題として議論する必要がある。

*11 C国でのみアクセスコストが必要な場合、他の条件が同じであるなら、C国を発地あるいは着地する旅客の費用はC国を発地にも着地にもしない旅客に比べてアクセスコストの分だけ大きくなり、需要量が小さくなる。その結果、B国とC国のどちらかを經由することを考える場合、B国を經由する方がC国を經由するよりも全体の旅客需要が多くなり、輸送密度の経済性による旅客当たりの運航費用の低下の効果をより多く受けることになる。

の方がそうでない場合よりも望ましいが、経由便を含む運航パターンの中では、タイプ3の方がタイプ2よりも大きいという点がさきほどと異なる。C国の厚生を考える上ではタイプ2が望ましく、社会全体の厚生を考える上ではタイプ3が望ましくなる理由は、前節で触れたように今回の問題の設定において各旅客市場の潜在的需要が同じ状況の下で、C国のみ空港へのアクセスコストが無視できないという設定によるものである。

次に、 q が1.3前後よりも十分大きい場合には、直行便のみの運航パターン(タイプ1、7、あるいはタイプ1、4、7)が現れる。これらでは常にタイプ1がC国および社会全体の厚生を考える上で望ましいという結果が得られる。この理由は次のとおりである。まず、タイプ1とタイプ7については、ほぼ実行可能領域はほぼ重なっているように見えるが、詳細に見ていくとすべての q の下で常にタイプ1の方がタイプ7の解の存在範囲より広がる。これは当該二つのタイプの本質的な差がアクセスコストの大きさによるものであるためである。すなわち、タイプ1の方がタイプ7よりもアクセスコストが小さくなっており、社会的厚生等すべての値においてタイプ7はタイプ1より小さい値をとる^{*12}。次に、タイプ1とタイプ4では、タイプ4の方がアクセスコストは小さいが、今回のパラメータ設定の下では、輸送密度の経済性による費用低下効果がアクセスコストの差よりも大きくなる。ゆえに、タイプ4よりもタイプ1の方が常に社会的厚生等が大きくなる。

最後に、本研究の主題である個人のアクセスコストの減少を目指して複数空港をおくことの是非については、次のように結論づけることができよう。すなわち、今回の設定の下での分析結果からは、旅客需要が大きく、かつ旅客がスケジュールコストを相

対的に重視しない(運賃や所要時間を重視する)状況の下では複数空港を利用した解は存在する。しかしC国に複数空港をおくことは、C国にとっても社会全体の厚生からも望ましくない可能性がある^{*13}。

4. おわりに

本稿では、航空旅客輸送における輸送密度の経済性とアクセスコストの関係を明示的に考慮することで、旅客個人のアクセスコストの減少を目指して複数空港をおくことが必ずしも社会的余剰等の面から望ましくないなど、ローカルな整備がグローバル戦略と相反する効果をもたらすことを数値シミュレーションの範囲で検討した。

分析の結果は次のように要約できよう。

- (1) 個人のアクセスコストの減少を目指して複数空港をおくことは、C国の厚生及び社会全体の厚生のいずれの観点から好ましくない可能性があること。
- (2) 供給側の輸送密度の経済性がそれほど強く働いていない、すなわち需要密度増加による旅客当たりの運航費用の低下効果が小さい状況の下で、旅客がトリップ費用として運賃や所要時間に比べてスケジュールコストを非常に重視している場合には経由便を含む運航パターンのみが存在する。このとき、C国にとっては自国をハブとする方が望ましいが、社会全体から見ると、必ずしもC国をハブとすることが望ましいとは限らないこと。
- (3) 供給側の輸送密度の経済性の上昇は、ある一定の値までは輸送密度を上昇させるような運航パターン(たとえばhub-spoke network)を支持すること。ただし、上記の結論はかなり、強い仮定に依拠したものであることに注意する必要がある。特に、(1)の定式化は路線需要が多くない範囲($Q < 1/\dots$)でのみ適用可能であるのに対し、本稿では q が非常に大きい場合には、路線集約による費用の低下効果の大きいハブ・スポーク型の運航パターンは出現しなくなり、point-to-point型の運航パターンのみが出現するという、現実感覚と離れた結果が得られている。この結果は、上記の適用範囲外の Q に関して導かれた可能性が大きいと考えられる。

この他、たとえば今回、C国や社会全体の厚生指標の大小は比較している。このとき、一つのタイプのみ現出する場合には問題はないが、複数のタイプが現出する場合には競争の結果として達成させるタイプを特定することはできない。したがって、複数のタイプが同時に現出する領域について、どのタイ

*12 今回の設定では、国内移動や空港での混雑を考慮していない。需要が十分に大きく、混雑費用が問題になる場合には結果が変わる可能性があることに注意する必要がある。

*13 今回の分析で考慮されていない混雑の問題や人口が一樣分布していない場合には、結果が変わる可能性があることに注意する必要がある。

*14 たとえば古沢¹⁾で紹介されているネットワークゲームのような枠組みを拡張した議論が必要となろう。ネットワークゲームとは、ノードをプレイヤー、リンクをプレイヤー間の協定として、協定を結ぶことによる利得や費用をもとにどのようなネットワークが形成されるについて分析が行われる。国際航空においても、航空交渉の場合の枠組みとして相互乗り入れか、片乗り入れを許容するかなどが重要となる。

プが競争の結果として達成されるかについては各国の戦略を考慮したゲーム論的な扱いが必要となる^{*14}。この他、空港配置におけるより現実的な設定(空港の段階的な整備)や空港容量を明示的に考慮した分析、航空会社の運航可能な路線の設定や以遠権等の扱いなどの仮定の緩和等の考慮などを通じた空港の最適配置に関する考察が可能な分析の拡張が必要である。

なお今回は国際航空輸送を想定した上で分析を行っているが、若干の仮定の変更で国内航空へ問題を拡張することも可能である。国内航空市場でも近畿地方での関西空港と伊丹空港、神戸空港など一つの地域内に複数空港が整備されることに対する是非や活用策に関して課題を抱えている場合も少なくない。このような地域では、今回のモデルを拡張・援用することで、一つの空港を重点的に整備すべきか、複数の空港を包括的に運用することで代替できないかなどについての議論が可能になると考えられる。

〔謝辞〕本稿をまとめるにあたり、応用地域学会の発表会やInternational Symposium for spatial economics and transportationでは、黒田達朗氏(名古屋大)やAnming Zhang氏(UBC)をはじめ多くの方々から今後の改善等を含めた有益な助言をいただいた。ここに記して感謝の意を表す。本研究には文部科学省科学研究費補助を受けている。なお、当然のことながら本稿の誤りはすべて著者に帰するものである。

【付録】各タイプの特定化

(1)タイプ1

仮定からタイプ1での逆需要関数は、式(2)を元に、

$$p^{12} = \overline{OD}_{AB} / -(q_a^{12} + q_b^{12}) / - / (q_a^{12} + q_b^{12}) - \cdot t^{12},$$

$$p^{23} = \overline{OD}_{BC} / -(q_b^{23} + q_c^{23}) / - / (q_b^{23} + q_c^{23})$$

$$- \cdot t^{23} - d/4 \quad p^{13} = \overline{OD}_{AC} / -(q_a^{13} + q_c^{13}) /$$

$$- / (q_a^{13} + q_c^{13}) - \cdot t^{13} - d/4$$

と書ける。ここで $p^{route} q_k^{route}$ はそれぞれルート(発空港と着空港、あるいは発空港と経由先空港と着空港の番号で表記) routeを利用する場合の航空運賃、ルートrouteで航空会社kを利用する旅客数である。航空会社の利潤関数を、

$$a = p^{13} q_a^{13} + p^{12} q_a^{12} - O\alpha(q_a^{13}) - O\alpha(q_a^{12}),$$

$$b = p^{23} q_b^{23} + p^{12} q_b^{12} - O\alpha(q_b^{23}) - O\alpha(q_b^{12}),$$

$$c = p^{23} q_c^{23} + p^{13} q_c^{13} - O\alpha(q_c^{23}) - O\alpha(q_c^{13}),$$

とすると、逆需要関数と利潤最大の1階条件を $q_a^{13}, q_a^{12}, q_b^{23}, q_b^{12}, q_c^{23}, q_c^{13}, p^{23}, p^{13}, p^{12}$ について連立させることで均衡解が得られる。

(2)タイプ2

タイプ2の逆需要関数は式(2)を元に、

$$p^{132} = \overline{OD}_{AB} / - q_c^{132} / - / (q_c^{23} + q_c^{132}) - / (q_c^{13} + q_c^{132})$$

$$- (t^{23} + t^{13}),$$

$$p^{23} = \overline{OD}_{BC} / -(q_b^{23} + q_c^{23}) / - / (q_b^{23} + q_c^{23} + q_c^{132})$$

$$- \cdot t^{23} - d/4,$$

$$p^{13} = \overline{OD}_{AC} / -(q_a^{13} + q_c^{13}) / - / (q_a^{13} + q_c^{13} + q_c^{132})$$

$$- \cdot t^{13} - d/4$$

航空会社の利潤関数を、

$$a = p^{13} q_a^{13} - O\alpha(q_a^{13}),$$

$$b = p^{23} q_b^{23} - O\alpha(q_b^{23}),$$

$$c = p^{23} q_c^{23} + p^{13} q_c^{13} + p^{132} q_c^{132} - O\alpha(q_c^{23} + q_c^{132})$$

$$- O\alpha(q_c^{13} + q_c^{132})$$

とすると、需要関数と利潤最大の1階の条件を $q_a^{13}, q_b^{23}, q_c^{23}, q_c^{13}, q_c^{132}, p^{23}, p^{13}, p^{132}$ について連立させることで均衡解が得られる。

(3)タイプ3

タイプ3の逆需要関数は、式(2)を元に、

$$p^{12} = \overline{OD}_{AB} / -(q_a^{12} + q_b^{12}) / - / (q_a^{12} + q_b^{12} + q_b^{123}) - \cdot t^{12},$$

$$p^{23} = \overline{OD}_{BC} / -(q_b^{23} + q_c^{23}) / - / (q_b^{23} + q_b^{123} + q_c^{23})$$

$$- \cdot t^{23} - d/4,$$

$$p^{23} = \overline{OD}_{BC} / -(q_b^{23} + q_c^{23}) / - / (q_b^{23} + q_b^{123} + q_c^{23})$$

$$- \cdot t^{23} - d/4,$$

$$p^{123} = \overline{OD}_{AC} / - q_b^{123} / - (q_b^{23} + q_b^{123}) - / (q_b^{12} + q_b^{123})$$

$$- (t^{23} + t^{12}) - d/4$$

航空会社の利潤関数を、

$$a = p^{12} q_a^{12} - O\alpha(q_a^{12}),$$

$$b = p^{23} q_b^{23} + p^{12} q_b^{12} + p^{123} q_b^{123} - O\alpha(q_b^{23} + q_b^{123})$$

$$- O\alpha(q_b^{12} + q_b^{123}),$$

$$c = p^{23} q_c^{23} - O\alpha(q_c^{23})$$

とすると、需要関数と利潤最大の1階の条件を $q_a^{12}, q_b^{23}, q_b^{12}, q_b^{123}, q_c^{23}, p^{23}, p^{12}, p^{123}$ について連立させることで均衡解が得られる。

(4)タイプ4

タイプ4の逆需要関数は、式(2)を元に、

$$\begin{aligned}
p^{23} &= \overline{OD}_{BC}/2 - (q_b^{23} + q_c^{23})/ - \quad / (q_b^{23} + q_c^{23}) - \quad \cdot t^{23} \\
&- d/8, \\
p^{24} &= \overline{OD}_{BC}/2 - (q_b^{24} + q_c^{24})/ - \quad / (q_b^{24} + q_c^{24}) - \quad \cdot t^{24} \\
&- d/8, \\
p^{13} &= \overline{OD}_{AC}/2 - (q_a^{13} + q_c^{13})/ - \quad / (q_a^{13} + q_c^{13}) - \quad \cdot t^{13} \\
&- d/8, \\
p^{14} &= \overline{OD}_{AC}/2 - (q_a^{14} + q_c^{14})/ - \quad / (q_a^{14} + q_c^{14}) - \quad \cdot t^{14} \\
&- d/8, \\
p^{12} &= \overline{OD}_{AB}/ - (q_a^{12} + q_b^{12})/ - \quad / (q_a^{12} + q_b^{12}) - \quad \cdot t^{12}
\end{aligned}$$

航空会社の利潤関数を、

$$\begin{aligned}
a &= p^{13} q_a^{13} + p^{14} q_a^{14} + p^{12} q_a^{12} - O\alpha(q_a^{13}) - O\alpha(q_a^{14}) \\
&- O\alpha(q_a^{12}), \\
b &= p^{23} q_b^{23} + p^{24} q_b^{24} + p^{12} q_b^{12} - O\alpha(q_b^{23}) - O\alpha(q_b^{24}) \\
&- O\alpha(q_b^{12}), \\
c &= p^{23} q_c^{23} + p^{13} q_c^{13} + p^{24} q_c^{24} + p^{14} q_c^{14} - O\alpha(q_c^{23}) - O\alpha(q_c^{13}) \\
&- O\alpha(q_c^{24}) - O\alpha(q_c^{14})
\end{aligned}$$

とすると、需要関数と利潤最大の1階条件を $q_a^{13}, q_a^{12}, q_a^{14}, q_b^{23}, q_b^{12}, q_b^{24}, q_c^{23}, q_c^{13}, q_c^{24}, q_c^{14}, p^{23}, p^{13}, p^{12}, p^{24}, p^{14}$ について連立させることで均衡解が得られる。

(5)タイプ5

タイプ5の逆需要関数は、式(2)を元に、

$$\begin{aligned}
p^{132} &= \overline{OD}_{AB}/2 - [q_c^{132}/ + \quad / (q_c^{23} + q_c^{132}) + \quad / (q_c^{13} + q_c^{132}) \\
&+ \quad \cdot (t^{23} + t^{13})], \\
p^{142} &= \overline{OD}_{AB}/2 - [q_c^{142}/ + \quad / (q_c^{24} + q_c^{142}) \\
&+ \quad / (q_c^{14} + q_c^{142}) + \quad \cdot (t^{24} + t^{14})], \\
p^{13} &= \overline{OD}_{AC}/2 - [(q_a^{13} + q_c^{13})/ + \quad / (q_a^{13} + q_c^{13} + q_c^{132}) \\
&+ \quad \cdot t^{13} + d/8], \\
p^{14} &= \overline{OD}_{AC}/2 - [(q_a^{14} + q_c^{14})/ + \quad / (q_a^{14} + q_c^{14} + q_c^{142}) \\
&+ \quad \cdot t^{14} + d/8], \\
p^{23} &= \overline{OD}_{BC}/2 - [(q_b^{23} + q_c^{23})/ + \quad / (q_b^{23} + q_c^{23} + q_c^{132}) \\
&+ \quad \cdot t^{23} + d/8], \\
p^{24} &= \overline{OD}_{BC}/2 - [(q_b^{24} + q_c^{24})/ + \quad / (q_b^{24} + q_c^{24} + q_c^{142}) \\
&+ \quad \cdot t^{24} + d/8]
\end{aligned}$$

航空会社の利潤関数を、

$$\begin{aligned}
a &= p^{13} q_a^{13} + p^{14} q_a^{14} - O\alpha(q_a^{13}) - O\alpha(q_a^{14}) \\
b &= p^{23} q_b^{23} + p^{24} q_b^{24} - O\alpha(q_b^{23}) - O\alpha(q_b^{24}) \\
c &= p^{23} q_c^{23} + p^{13} q_c^{13} + p^{24} q_c^{24} + p^{14} q_c^{14} + p^{132} q_c^{132} \\
&+ p^{142} q_c^{142} - O\alpha(q_c^{23} + q_c^{132}) - O\alpha(q_c^{13} + q_c^{132}) \\
&- O\alpha(q_c^{24} + q_c^{142}) - O\alpha(q_c^{14} + q_c^{142})
\end{aligned}$$

とすると、需要関数と利潤最大の1階条件を $q_a^{13}, q_a^{14},$

$q_b^{23}, q_b^{24}, q_c^{23}, q_c^{13}, q_c^{24}, q_c^{14}, q_c^{132}, q_c^{142}, p^{23}, p^{13}, p^{24}, p^{14}, p^{132}, p^{142}$ について連立させることで均衡解が得られる。

(6)タイプ6

タイプ6の逆需要関数は式(2)を元に

$$\begin{aligned}
p^{12} &= \overline{OD}_{AB}/ - [(q_a^{12} + q_b^{12})/ + \quad / (q_a^{12} + q_b^{12} + q_b^{123} + q_b^{124}) \\
&+ \quad \cdot t^{12}], \\
p^{23} &= \overline{OD}_{BC}/2 - [(q_b^{23} + q_c^{23})/ + \quad / (q_b^{23} + q_b^{123} + q_c^{23}) \\
&+ \quad \cdot t^{23} + d/8], \\
p^{24} &= \overline{OD}_{BC}/2 - [(q_b^{24} + q_c^{24})/ + \quad / (q_b^{24} + q_b^{124} + q_c^{24}) \\
&+ \quad \cdot t^{24} + d/8], \\
p^{123} &= \overline{OD}_{AC}/2 - [q_b^{123}/ + \quad / (q_b^{23} + q_b^{123}) + \quad / \\
&(q_b^{12} + q_b^{123}) + \quad (t^{23} + t^{12}) + d/8], \\
p^{124} &= \overline{OD}_{AC}/2 - [q_b^{124}/ + \quad / (q_b^{12} + q_b^{124}) + \quad / \\
&(q_b^{24} + q_b^{124}) + \quad (t^{12} + t^{24}) + d/8]
\end{aligned}$$

航空会社の利潤関数を、

$$\begin{aligned}
a &= p^{12} q_a^{12} - O\alpha(q_a^{12}), \\
b &= p^{23} q_b^{23} + p^{12} q_b^{12} + p^{24} q_b^{24} + p^{123} q_b^{123} + p^{124} q_b^{124} \\
&- O\alpha(q_b^{23} + q_b^{123}) - O\alpha(q_b^{24} + q_b^{124}) - O\alpha(q_b^{12} + q_b^{123} + q_b^{124}), \\
c &= p^{23} q_c^{23} + p^{24} q_c^{24} - O\alpha(q_c^{23}) - O\alpha(q_c^{24})
\end{aligned}$$

とすると、需要関数と利潤最大の1階の条件を $q_a^{12}, q_b^{23}, q_b^{24}, q_b^{123}, q_b^{124}, q_b^{12}, q_c^{23}, q_c^{24}, p^{23}, p^{12}, p^{24}, p^{123}, p^{124}$ について連立させることで均衡解が得られる。

(7)タイプ7

タイプ7の逆需要関数は、式(2)を元に

$$\begin{aligned}
p^{12} &= \overline{OD}_{AB}/ - (q_a^{12} + q_b^{12})/ - \quad / (q_a^{12} + q_b^{12}) - \quad \cdot t^{12}, \\
p^{23} &= \overline{OD}_{BC}/ - (q_b^{23} + q_c^{23})/ - \quad / (q_b^{23} + q_c^{23}) \\
&- \quad \cdot t^{23} - 5d/16, \\
p^{14} &= \overline{OD}_{AC}/ - (q_a^{14} + q_c^{14})/ - \quad / (q_a^{14} + q_c^{14}) \\
&- \quad \cdot t^{14} - 5d/16
\end{aligned}$$

航空会社の利潤関数を、

$$\begin{aligned}
a &= p^{12} q_a^{12} + p^{14} q_a^{14} - O\alpha(q_a^{12}) - O\alpha(q_a^{14}), \\
b &= p^{23} q_b^{23} + p^{12} q_b^{12} - O\alpha(q_b^{23}) - O\alpha(q_b^{12}), \\
c &= p^{23} q_c^{23} + p^{14} q_c^{14} - O\alpha(q_c^{23}) - O\alpha(q_c^{14}),
\end{aligned}$$

とすると、需要関数と利潤最大の1階の条件を、 $q_a^{12}, q_b^{14}, q_b^{23}, q_b^{12}, q_c^{23}, q_c^{14}, p^{23}, p^{12}, p^{14}$ について連立させることで均衡解が得られる。

参考文献

- 1) Brueckner, J.K. and Spiller, P.T.: Competition and mergers in airline networks, *International Journal of Industrial Organization*, Vol. 9, pp 323-342, 1991
- 2) Brueckner, J.K. and Spiller, P.T.: Economies of traffic density in the deregulated airline industry, *Journal of Law and Economics*, vol. 37, pp 379-415, 1994
- 3) Fujita, M. and Mori, T.: The role of ports in the making of major cities; self agglomeration and hub effect, *Journal of Development Economics*, Vol. 49, pp 93-120, 1996
- 4) Hendricks, K. and Piccione, M., Tan, G.: The economics of hubs: the case of monopoly, *Review of Economic Studies*, Vol. 62, pp 83-99, 1995
- 5) 古沢泰治「自由貿易協定ネットワークゲーム」今井晴雄、岡田章(編)『ゲーム理論の応用』勁草書房、2005年
- 6) Konishi, H.: Formation of hub cities: transportation cost advantage and population agglomeration, *Journal of Urban Economics*, Vol. 48, pp 1-28, 2000
- 7) 黒田達朗「国際市場競争へのゲーム論的接近」瀬尾芙巳子、福地崇生(編)『あいまい環境下のモデリングと意思決定』京都大学学術出版会、2002年
- 8) Mori, T. and Nishikimi, K.: Economies of transport density and industrial agglomeration, *Regional Science and Urban Economics*, Vol. 32, pp 167-200, 2002
- 9) Nero, G.: A structural model of intra European Union duopoly airline competition, *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 30(2), pp 137-155, 1996
- 10) 大橋忠宏、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, pp 33-44, 1999年
- 11) Zhang, A.: An analysis of fortress hubs in airline networks, *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 30(3), pp 293-307, 1996