

# 新幹線との共存を考慮した複数空港の機能分担

竹林 幹雄<sup>1</sup>

<sup>1</sup>正会員 神戸大学大学院海事科学研究科 (〒658-0022 神戸市東灘区深江南町5-1-1)

E-mail: takebaya@kobe-u.ac.jp

本稿では、容量制約の厳しい空港の需要を補完するために、新幹線を含めた国内フィーダーネットワーク利用によるゲートウェイ空港の効果的利用促進を行う空港運営方法を検討する。Bi-levelモデルを簡単な4ノードネットワークに適用し、旅客ならびに航空会社への補助金政策を検討するために、シナリオ分析を行った。分析の結果、混雑空港以外のゲートウェイ空港発着の国際線利用者への運賃負担を行うことにより効果的に誘導できることがわかった。航空会社の収益も潜在流動量が大きくなれば、補助によって収益が増加する可能性があることが示された。

**Key Words :** air transport, high speed rail, multiple airport system

## 1. はじめに

羽田空港では2020年のオリンピック開催に向けて、飛行経路変更なども含めた容量拡張方法について検討されていることは広く知られている。これはひとえにここ数年で爆発的に増えた「インバウンド旅客」がオリンピック開催によりさらに増加すると見込まれているためである。政府は昨年度訪日旅客数が2000万人をはるかに超えた事実を踏まえ、訪日旅客数4000万人実現を前倒しして達成を目指している。まさに「インバウンド需要」という黒船来港である。

一方、迎える空港側は先の羽田空港、あるいは成田空港といった首都圏の国際拠点空港は深刻な滑走路容量不足に直面する（あるいはすでに直面している）と考えられている。その一つの対処法が先所に述べた飛行ルート変更であるが、現行容量に対して10%程度の拡張であり、想定以上の需要があった場合、抜本的な解決策とは言いがたい。ハードウェア的な解決策が不可欠となる。

一方でわが国は世界的に見ても高速鉄道網の整備が進んでいるとみてよく、特にその輸送頻度の高さは群を抜くものがある。すでに先行研究にあるようにこういった高速鉄道（High Speed Rail/HSR）と航空輸送が、特定の条件下では互いに協調することで滑走路容量不足に悩む空港を補助することが可能であるとも考えられる。Jiang and Zhang<sup>1)</sup>は十分な滑走路容量がない空港に対して、HSRが運航における協調を行うことが容量不足解消に貢献する、ということを理論的に指摘している。またTakebayashi<sup>2)</sup>も

HSRと空港が協調することにより、混雑空港における混雑解消など複数空港が効果的に運営されることを数値計算を通じて示している。

わが国においても、羽田・成田の滑走路容量を物理的に早急に拡張することは難しく、HSRとの協調、あるいはHSRの利用を積極的に行うなどの方策により首都圏へのインバウンド旅客の需要を損なわないことが重要である。

本稿は以上のような問題意識に鑑み、HSRの利用を前提とした複数空港の最適運用に関する示唆をモデル分析を通じて得ようとするものである。

## 2. モデルの概略

本稿で使用するモデルは既開発のbi-levelモデルである。なお、基本的な構造は既発表論文<sup>2)</sup>に譲ることとし、拡張点のみを示す。

本稿の分析では混雑する空港の供給不足を補うために、政府は何らかの他空港の利用促進政策をとるものとする。具体的にはインバウンド旅客を他のゲートウェイ空港に振り分けつつ、需要の減少を少しでも防ごうとするものである。このような振り分けを実現するため、政府は旅客ないしは航空会社に何らかの補助（運賃補助、あるいは運航費用補助）を行うものとする。

### (1) 航空会社の行動

航空会社の行動は既発表論文<sup>2)</sup>と同じく、頻度、運賃を制御変数とする利潤最大化を目的とする。ただし、HSRに関しては頻度固定で運賃のみの最適化とするものとしている。

航空会社は混雑空港以外のゲートウェイ空港に乗り入れる場合、運航費用の一部を政策的に負担されるものとする。このため、運航費用は以下のように変更される。

If h is not a congested airport and ln is a international flight:  $C_{ln}^{OP} = C_{ln}^{Base} \rho$   
 Otherwise  $C_{ln}^{OP} = C_{ln}^{Base}$  (1)

ここで、 $C_{ln}^{OP}$ :当該リンクの運航費用、 $C_{ln}^{Base}$ :当該リンクの運航費用のうち、燃油費など自社の機材の運航に直接関わる費用、 $\rho$ :割引率である。

(2) 旅客の行動

旅客の行動も既発表論文<sup>2)</sup>と同じく、一般化費用の最小化を目的とするが、その行動はランダム効用理論に従うものと仮定しているため、容量制約付き stochastic user equilibrium<sup>2)</sup>として記述されるものとする。

旅客は混雑していないゲートウェイ空港を使用する場合、運賃補助  $\omega$  を受けるものとする。旅客の効用関数（ここでは全てコストで表現されるため不効用で定義される）は次のように変更される。

$$u_k^{rs} = \alpha_1 t_k^{rs} + \alpha_2 (p_k^{rs} + \omega \delta_{con}^{rsk}) + \sum_{l \in I^{Av}} \frac{\alpha_3}{f_l} \delta_l^{rsk}$$

(2)

ここで、 $u_k^{rs}$ : rsODペアk番目ルートの不効用、 $t_k^{rs}$ : 当該ルートの総旅行時間、 $p_k^{rs}$ : 当該ルートにおけるターミナル費用を除いた総旅行費用（運賃の合計で記述される）、 $\delta_{con}^{rsk}$ : 経路が補助を受ける条件を満たしている場合1、それ以外はゼロを取る2値変数、 $\alpha_i$  (i=1, 2, 3): ウェイトである。

3. 数値計算

(1) 設定の概略

本稿で考察対象とするネットワークを図-1に示す。ODゾーンは4ゾーンであり、1-3は国内、4は海外ゾーンを指す。各ゾーンは航空ネットワークで連結されており、かつ1-2ならびに1-3はHSRも利用が可能であるとしている。実線は航空路線、破線はHSR路線を示す。黒丸はCBDであり、HSRが設置されている場合は駅はここにあるものとする。空港1、2に関してはCBDからアクセス時間30がかかるものと設定

している。数値計算に使用する各種設定（抜粋）を表-1, 2示す。ここで、ゾーン1が他の国内ゾーンよりも卓越して需要が大きいとしている。以降のシナリオスタディではこのゾーン1に設置されている空港1の供給不足を補う方策について検討するものとしている。

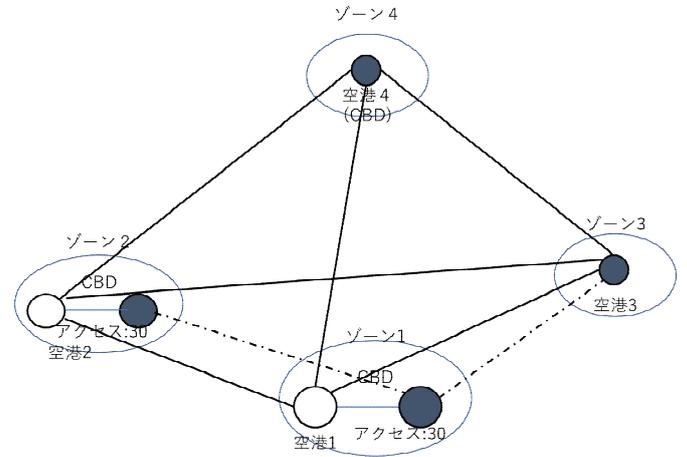


図-1 対象とするネットワーク

表-1 OD フロー

	zone 1	zone 2	zone 3	zone 4
zone 1	0	30000	30000	10000
zone 2	30000	0	2500	2000
zone 3	30000	2500	0	2000
zone 4	10000	2000	2000	0

表-2 旅行時間

	zone 1	zone 2	zone 3	zone 4
zone 1	0	50 [150]	50 [150]	600
zone 2	50 [150]	0	100	600
zone 3	50 [150]	100	0	600
zone 4	600	600	600	0

[ ]内の値は HSR

(2) 結果の整理と考察

ここではセカンドゲートウェイである2, 3の利用促進を議論するため、1-4の旅客数の増減に絞って結果を紹介する。

まずair-HSR（空港2あるいは3で国際線に接続し、国内輸送はHSRを利用する）旅客に対して、公的に運賃補助を行う、という方策についてその効果を見ることとする。これは換言すると、HSRの利用を促進する、という方針でもある。

表-3には1-4の総需要（潜在流動量として定義）を10000 (Case 1), 15000 (Case 2), 20000 (Case 3) の3通り設定し、それらに対してair-HSR旅客に対して50 (以降HSR 50), 100 (HSR 100), 150 (HSR 150)の運賃補助を行う場合の経済化した需要量増減の比較を行ったものである。次に1-4旅客の移動パ

ターン別に検討を加える。表-4はゾーン1着の旅客が(i)ダイレクト便利用 (direct) , (ii) 国内航空路線利用による経由 (air-air) , (iii)HSR利用による経由 (air-HSR) , の3つの利用パターンに対し、顕在化した需要に占める割合を比較したものである。

表から、潜在需要が大きくなるに従って、Baseにおけるダイレクト便利用旅客の占める割合が減少していることがわかる。換言すると、潜在需要が大きい場合、経由旅客は増加する傾向にあるといえる。さらに、潜在需要が増加すれば、HSR利用の経由旅客(以降air-HSR旅客)が大幅に増加することがわかる。これは、空港1での滑走容量制約が厳しいため、国内線利用よりもHSR利用の方が利便性が高いと評価されるためであると考えられる。この点から見ても、滑走路容量の制約が大きいゾーンへのインバウンド旅客の需要に十分対応するためには、HSRの利用促進が有効であると考えられる。

表-3 HSR接続旅客への補助の影響 (OD: 1-4)

	HSR 50	HSR 100	HSR 150
Case 1	0.3	1.5	4.3
Case 2	1.1	14.9	21.1
Case 3	8.1	14.1	13.8

単位：%

注：各ケースで補助を行わない場合の流動量を100としてその増減を示している。

表-4によると、まずCase 1と比較して、流動量が多くなればその分HSRを利用してセカンダリゲートウェイから出入国する旅客への補助金が総流動を増加させていることがわかる。すなわち、潜在的流動量が多いにもかかわらず、空港の容量制約のために需要をまかないきれいな状態が、HSRを経由して移動する旅客への運賃補助政策を行うことにより解消される可能性を示唆するものである。ただし、その改善度合いは潜在流動量が増加するにしたがって単純に増加する、というものではないことが表から読み取ることができる。

例えば、表-3のHSR50についてみると、総需要(潜在流動量)が増加するに従って改善効果が拡大しているが、HSR100、HSR150についてみるとCase 3では効果が減衰するという結果を得ている。また、Case 3においてもHSR100のほうがHSR150よりも若干効果が高いという結果となっている。これについては旅客の直航便利用と経由便利用の比率の違いが影響していると考えられる。これについてはHSR50-150の効果を経由旅客シェアの変化の点から考えることとする(表-4参照)。

また表-4からair-HSR旅客への補助を増加させることにより、air-HSR旅客の占める割合が増加することかがわかる。前述のODペア1-4の総需要の増加と併せて考えると、air-HSR旅客数の増加が総需要の増加に大きく貢献していることが推察される。

一方、air-HSR旅客に対する補助は航空機利用経由旅客(以降air-air旅客)の占める割合を減少させ

ることがわかる。また、この傾向は潜在流動量が大きくなるに従い強くなる傾向にあるといえる。例えば、Case 3 (20000)の場合、HSR150によりair-air旅客の占める割合は10.1%から1.2%にまで減少する。逆にCase 1ではその減少割合は小さい。同様に直航便利用旅客数も減少する。特に潜在需要が大きいCase 3では極端な旅客のシフトがHSR 100とHSR 150の間に生じたと考えられる。これは旅客のシフトによる直航便の需要減少を補うために価格上昇が生じ、全体として若干需要が減退したということが考えられる。

さて、こういった運航への影響はキャリアの収益構造にも影響を与えると考えられる。

表-4 移動パターン別シェア

Case 1				
	Base	HSR 50	HSR 100	HSR 150
direct	89.4	74.0	55.4	35.5
air-air	3.5	2.8	2.4	2.4
Air-HSR	7.1	23.2	42.1	62.1
Case 2				
	Base	HSR 50	HSR 100	HSR 150
direct	66.4	53.9	39.4	34.4
air-air	8.7	7.1	4.0	2.2
Air-HSR	24.9	39.0	56.5	63.3
Case 3				
	Base	HSR 50	HSR 100	HSR 150
direct	54.1	51.7	47.2	30.8
air-air	10.1	7.3	2.6	1.2
Air-HSR	35.8	40.9	50.1	68.1

単位：%

注：経由旅客に関しては空港2, 3をゲートウェイとして利用する旅客数を集計した値としている。

表-5は航空会社<sup>1</sup>とHSRの収益の変化を各ケースのBase Caseの値を基準として変化の割合を示したものである。

表から、まずCase 1についてはair-HSR旅客への補助を行うことにより、航空会社の収益が減少する場面があるが、これはair-HSR旅客が増加することによる国内線フィーダー旅客を含む国内線利用者(リンク1-2, 1-3)が減少するためであると考えられる。一方で、Case 2, Case 3ともに補助を実施することにより収益が増加することがわかる。特に潜在流動量が大きくなるにつれて補助による収益増加の傾向が現れるととらえることができる。また、当然ながらHSRの収益はair-HSR旅客への運賃補助の値が大

<sup>1</sup> 航空会社は互いに対称な収益構造となっているため、ここでは1社を代表として表している。

きくなるにつれて増加する。

以上の結果から、次のような示唆を得る。

- 1) 空港の容量に厳しい制約が存在する環境下では、air-HSR旅客に対する運賃補助を行うことによりセカンダリゲートウェイ空港への旅客誘導を促進させることができる。
- 2) Air-HSR旅客への運賃補助は混雑するゲートウェイ空港の負担を減少させつつ総流動を増加させる可能性がある。
- 3) Air-HSR旅客への運賃補助は、潜在流動量が比較的小さい場合は航空会社の収益を減少させる可能性があるが、その影響は小さい。一方、潜在需要が大きくなるに従い、補助による影響は航空会社にとって好転し、補助が大きくなるに従い収益も増加する。
- 4) HSRはいずれの場合も補助が実施されることにより収益は大幅に増加する。

表-5 キャリアの収益の変化

	HSR 50	HSR 100	HSR 150
airines	-7.3	0.3	-0.2
HSR	19.8	36.4	65.8
	HSR 50	HSR 100	HSR 150
airines	6.6	3.4	10.0
HSR	4.0	33.7	55.7
	HSR 50	HSR 100	HSR 150
airines	11.7	15.1	33.0
HSR	2.8	18.0	35.5

単位：%

国内線の運航への影響があるため、航空会社の収

益の変化はHSRのそれほど単純なものではないが、潜在需要が大きくなることで補助を実施することにより、総流動は増加するため航空会社の収益も好転する、という構造となっていると考えられる。すなわち、潜在流動量が大きくなる、例えばインバウンド需要が増加することにより、航空輸送と高速鉄道輸送はセカンダリゲートウェイ空港利用促進という目的においてwin-winの関係となることが示唆された。これはJiang and Zhang<sup>1)</sup>の「空港容量不足が懸念される場合には航空輸送の役割を高速鉄道が補完できる」という指摘を支持するものである。航空会社も一定の潜在需要以上が見込まれる場合には、air-HSR旅客へのこういった補助政策に対して異を唱えるインセンティブは持たない。すなわち、政策的には実行可能である可能性があることが示されたといえる。

#### 4. おわりに

本稿では増加するインバウンド需要に対応するための複数空港運営方法についてHSR利用者を促進することによる効果、ならびに市場への影響をBi-levelモデルを適用してモデル分析を試みた。なお、より詳細な分析結果については機会を改めて発表する予定である。

#### 参考文献

- 1) Jiang, C., Zhang, A. : The effects of high-speed rail and air transport cooperation under airport capacity constraint, *Transportation Research B*, 33-49, 2014.
- 2) Takebayashi, M.: Multiple hub network and high-speed railway: Connectivity, gateway, and airport leakage, *Transportation Research A* 79, 55-64, 2015.

## Multiple Airport System with HSR Network and the Big Market of Inbound Travelers

Mikio TAKEBAYASHI

This paper aims to consider the workable policy of increasing the number of inbound travelers under the serious runway capacity constraint at the main gateway airport. We apply the bi-level model to the simple four nodes network and set some policy scenarios which support the connecting passengers and airlines using secondary gateways. Our results suggest (i) supporting the fares for connecting passengers can be useful to increase the number of inbound travelers: (ii) airlines' profits can increase by the fare support to air-HSR passengers when the potential demand is large.