

高速鉄道と空港の接続性が旅客輸送市場 に与える影響に関する一考察

竹林 幹雄¹

¹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

本研究は航空輸送と高速鉄道との接続性が市場に与える影響についてモデル分析を通じて検討を加える。そして、接続性の改善が特に「内陸ハブ」など国際線利用促進への効果について考察するモデルは既開発のbi-levelモデルを援用し、3ゾーン間のハブスポーク型輸送を航空輸送の前提として数値計算を行った。その結果、航空と鉄道との接続性を改善することで当該空港での国際線利用が促進されることがわかった。しかし、その有効性はターミナル需要によって左右されることもわかった。

Key Words : *air transport, high speed rail, connectivity*

1. はじめに

わが国が誇る新幹線をはじめとして、世界的な規模で高速鉄道 (high speed rail/HSR) の整備運営が進められ、また導入の検討が始まっている。既に欧州では環境重視の政策とも相まって鉄道輸送が見直され、この20年間にTGV/Thalis/Eurostarの輸送ネットワークが大幅に拡充した。鉄道網の整備に邁進する中国本土でも、HSRの整備は盛んであり、北京上海間運行をはじめとする「中国版新幹線」の登場が話題を呼んだことも記憶に新しい。中国に先んじて韓国や台湾でもHSRが整備され、中でも台湾高速鉄道は日本の新幹線技術をいち早く導入したことで知られている。今後は、ASEAN諸国やHSR整備に否定的であった南北アメリカ大陸でも整備が検討されるという状況であり、まだまだ発展する可能性がある輸送市場であるといえる。

一方で、HSRの市場は航空輸送市場と重複することが少なくない。わが国では新幹線と航空輸送が潜在的に競合関係にあることが指摘されてきた¹⁾。実際、東京大阪間の旅客輸送における分担率は2005年時点では航空：鉄道は30:70であったのに対し、N700系による輸送が多くを占めるようになった2010年時点ではその比率が13:87にまで変化した²⁾。また、2011年3月に全線開通した九州新幹線の影響で、関西圏発着の熊本・鹿児島方面の航空利

用が減少したことで明らかである。このような現象は他国でも観測されており、例えば台湾ではHSR開通と同時に台北高雄間などHSRと競合する国内航空路線の多くは廃止、ないしは大幅に輸送頻度を低下させおり、輸送実績からもその影響は明らかである³⁾。HSR整備の影響は近距離航空輸送にとって計り知れないといえ、近年盛んに研究されている⁴⁾。

一方で、このような特性を持つHSRであるが、欧州では航空輸送とHSRとが連携して輸送を試みる事例も認められ、その効果に関する研究も始まっている⁵⁾。こういった輸送を実現するには空港とHSRの接続性の改善が必要であり、またHSRの空港への直接乗り入れが旅客数増加に大きく貢献するという期待がリニア新幹線の関西空港乗り入れ案⁶⁾などでみることができる。

しかし、前述のように航空輸送とHSRによる輸送は多くの場合競合ととらえられ、相乗効果を生むためには一定の条件整備が必要であると考えられる。また、特に国際線旅客需要の伸び悩みを抱える空港での、旅客数獲得の効果に関しては、筆者の知る限り理論的にもまだ未検討である。

本研究は以上のような問題意識に鑑み、航空輸送とHSRとの接続性が市場に与える影響についてモデル分析を通じて検討を加える。そして、接続性の改善が特に「内陸ハブ」など国際線利用促進への効果について考察

する。

2. モデルの概要およびその適用

(1) モデルの概要

本稿ではキャリアー利用者のインタラクションを考えるbi-levelモデルを適用する。Bi-levelモデルの基本形は既に拙稿⁹⁾にて述べているので、ここでは旅客モデルに関しては簡単に紹介することにとどめ、キャリアモデルにおける重要な変更点に絞って述べることにする⁷⁾。なお、使用する記号の説明は巻末のAppendixの表に一括して表記する。

(2) 旅客の行動

旅客モデルは既発表論文で述べられているモデルと同じである。旅客は一般化費用を最小化するように経路を選択する。この場合の経路選択とは、発着および経由空港、キャリアを同時選択することを意味する。定式化は以下の通りである。

【容量制約つき確率的利用者均衡配分問題：SUE/FD-CAP】

$$\text{Object: } \min_{x_k^{rs}} \Gamma(x_k^{rs}) = \frac{1}{\theta} \sum_{rs \in \Omega} \sum_{k \in K^{rs}} x_k^{rs} (\ln x_k^{rs} - 1) + \sum_{rs \in \Omega} \sum_{k \in K^{rs}} u_k^{rs} x_k^{rs} \quad (1)$$

Subject to

$$\sum_{k \in K^{rs}} x_k^{rs} = X^{rs}, \forall rs \in \Omega, \quad (2)$$

$$x_{l^n} = \sum_{rs} \sum_k x_k^{rs} \delta_l^{rsk} \leq v_{l^n} f_{l^n}, \quad \forall l^n \in I^n \text{ and } n \in N, \quad (3)$$

$$x_k^{rs} \geq 0, \text{ for } \forall k \in K^{rs} \text{ and } rs \in \Omega, \quad (4)$$

式(1)は目的関数、式(2)はOD交通量の保存、式(3)はリンクでの容量制約、式(4)は制御変数の非負条件である。

ここで、旅客の利用経路選択に関わる不効用は以下のように示されるものとする。

$$u_k^{rs} = \alpha_1 (t_k^{rs} + w_k^{rs}) + \alpha_2 p_k^{rs} + \sum_{l \in I^{Av}} \frac{\alpha_3}{f_l} \delta_l^{rsk} \quad (5)$$

式(5)で示されるように、旅客の不効用は経路の所要時間 t_k^{rs} 、運賃 p_k^{rs} 、運賃を除外したアクセス費用など

によって構成される旅行費用 \bar{p}_k^{rs} 、頻度の経済を表す $1/f_{l^n}$ で表される。なお、最終的な旅客の不効用 U_k^{rs} は u_k^{rs} に満席の場合のコスト(混雑項) λ_{l^n} の線形結合 λ_k^{rs} を加えたものとして表される。

$$U_k^{rs} = u_k^{rs} + \sum_{n \in N} \sum_{l^n} (\lambda_{l^n}) \delta_{l^n}^{rsk} \quad (6)$$

λ_{l^n} は制約式(3)に対応するLagrange乗数である。なお、この λ_{l^n} は「満席によって追加的に負担した費用」と解釈することができる。

なお、モデルでは対象とするエアライン n 以外で輸送される経路の存在も仮定し、これをバイパスとしている。このバイパスを設けることにより、OD交通量そのものは非弾力的ではあるが、考察対象の航空旅客需要は弾力的に変化することになる。

(3) 航空会社の行動

本稿で考察するキャリアは2種類存在する。1つはエアラインであり、もう一つは鉄道会社である。両方ともに利潤最大化を目的として戦略を組むが、競争の条件が異なるものと設定している。

まずエアラインは国内線(あるいは近距離市場)、国際線(あるいは長距離市場)ともに運航するとしている。エアラインは輸送頻度ならびに運賃の双方を操作変数とする。エアライン n の行動は次のように定式化される。

【航空会社の利潤最大化問題：AMAX】

$$\max_{f^n, p^n} \pi^n(f^n, p^n, \tilde{f}^{-n}, \tilde{p}^{-n}) = \sum_{rs} \sum_k \sum_{l^n \in I^n} p_{l^n} \hat{x}_k^{rs} \delta_{l^n}^{rsk} - \sum_{l^n \in I^n} C_{l^n}^{OP} (v_{l^n}) f_{l^n} \quad (7)$$

subject to

$$G(f^n, p^n) \geq 0 \quad (8)$$

$$\hat{x}_k^{rs} = \arg \{ \min : \Gamma(x_k^{rs}) \text{ subject to (2) to (4)} \}, \forall k \in K^{rs} \text{ and } rs \in \Omega, \quad (9)$$

式(8)は一般的な制約であり、運賃の最少額、ならびに最小運航頻度に関わる制限などもこの形式で表現可能である。式(9)は旅客フローが均衡フローで与えられることを意味する。

なお、本稿ではリンクごとに運賃が設定されるとして

いるため、経路運賃 p_k^{rs} はリンクごとの運賃の結合で表される。

一方、鉄道会社は国内市場のみを運航するものとする。ただし、路線の制約上、簡単に頻度を変化させることは難しい。このため頻度は与件とし、運賃のみを操作変数とすると考えることとする。なお、鉄道輸送に関しては頻度が固定されているため、運航費用に関しては目的関数に組み込む必要はない。ゆえに、鉄道会社Rの行動は以下のように定式化される。

$$\max_{\mathbf{p}} \pi^R(\mathbf{p}^R, \tilde{\mathbf{f}}^{-n}, \tilde{\mathbf{p}}^{-n}) = \sum_{rs} \sum_k \sum_{l^r \in I^R} p_{l^r} \hat{x}_k^{rs} \delta_{l^r}^{sk} \quad (10)$$

このとき、鉄道をフィーダーとして利用する国際線旅客の存在を許すとすると、インターラインサービスを利用する旅客を含めた旅客が鉄道会社の旅客となる。

3. 数値計算例

本章では国内輸送市場で鉄道と航空が存在する市場を想定し、国際線運航ならびに社会厚生の変化について数値計算を通じて考察する。

(1) 基本設定

以下に数値計算全体を通じての共通の仮定を述べる。

(i) OD旅客数は与件である。

(ii) OD旅客は競合するキャリアの他に代替経路を利用することができる。代替経路のLOSは与件である。

(iii) 航空会社は国内線、国際線ともいずれの企業も同一の機材を用いる。

(iv) 空港での混雑の影響は無視できる。

(v) 国内線で航空を利用する場合にはCBDへの移動を行う場合、一般化費用wが余計にかかるものとする。同様に鉄道と航空の乗り換えにも一般化費用wが発生するものとする。

(vi) 航空会社同士の乗り換えはできない。

(vii) 航空会社、鉄道会社の参入退出は考えない。

仮定(i)(ii)によりOD旅客数はLOSにより弾力的に変化する。仮定(iv)は空港の混雑による遅延の発生は考慮しないことを意味する。(v)は、鉄道駅は主としてCBDに設置されているのに対して、空港はCBDから一定距離離れたところに位置する事実に基づく設定である。Wは乗り換え抵抗に相当するものと考えてよい。(iv)は厳しい条件ではあるが、同じモード利用であればFFPなどで同一のキャリアを選択しやすいことを反映したものである。次に数値計算で使用する各種数値に関して述べる。基

本的な設定はTakebayashi (2012)⁹の値をもとにしている。ODゾーンとしては3ゾーンとし、各都市に空港が存在するとする。OD交通量は表-1に示すとおりである。ただし、ここに示した値は基本ケースにおいて用いたものであり、後に感度分析を行う際には一部変更している。次に、距離および旅行時間に関しては表-2に示すとおりである。上段の数値は空港間距離であり、下段の () 内の値は旅行時間である。なお[]内の数値は鉄道を利用した場合の移動時間である。表-3には運賃の初期値を示している。[]内は鉄道の料金である。表-4には代替輸送の運賃(上段)と旅行時間(下段の () 内)を示している。代替輸送の輸送頻度は固定されており、0.5としている。

表-1 OD表

	1	2	3
1	0	30000	5000
2	30000	0	5000
3	5000	5000	0

表-2 距離と輸送時間

	1	2	3
1	0	350 (50) [60]	6000 (600)
2	350 (50) [60]	0	6000 (600)
3	6000 (600)	6000 (600)	0

表-3 初期運賃

	1	2	3
1	0	120 [140]	1000
2	120 [140]	0	1000
3	1000	1000	0

表-4 代替モードの運賃と輸送時間

	1	2	3
1	0	60 (360)	1200 (1200)
2	60 (360)	0	1200 (1200)
3	1200 (1200)	1200 (1200)	0

分析では簡単のため、航空会社は2社、鉄道会社は1社であるとしている。航空会社の各リンクの単位輸送費用は0.15に固定している。空港の容量制約は今回は考えていない。また、航空会社は短距離用には200席の、長距

離用には300席の機材を両社ともに投入するものとして
いる。また運行頻度の初期値は短距離は50、長距離は30
とし、最小運行頻度は0.5としている。鉄道会社に関し
ては、輸送頻度は40で固定し、輸送容量は1回あたり
1000席としている。

(2) 基本ケース

まずOD交通量が表-1で与えられる場合を取り上げる。
この状況を基本ケース (Base Case) とする。図-1にネッ
トワークの構造を示す。図中でAccessと示されている部
分が w が旅客移動に負荷される部分である。

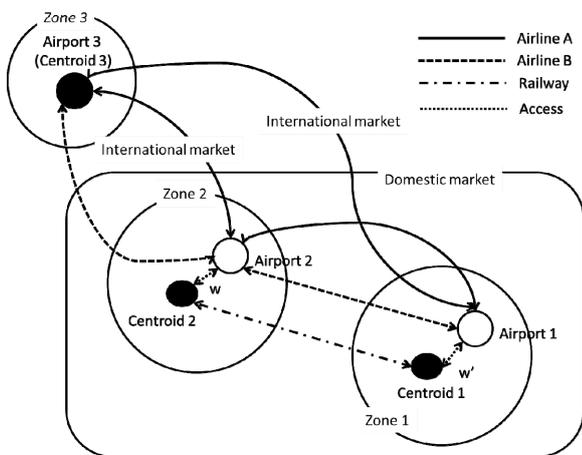


図-1 ネットワーク構造 (基本ケース)

航空会社 A, B, 鉄道会社は国内輸送市場では競合し
ている。一方、国際輸送市場では A, B は競合している
が、鉄道会社は競合関係にはない。以上のような条件で
分析を行う。なお、以降の数値計算では空港 2 とセント
ロイド 2 をつなぐアクセス w はシナリオで与えることと
し、空港 1 とセントロイド 1 をつなぐアクセス w' につ
いては $w'=60$ と固定する。

表-5には輸送量、路線運賃、ならびに収益を示してい
る。また、図-2には航空輸送に関して、路線別交通量
の変化を示している。表-5および図-2から明らかなように
 w の値が大きくなると、国内線での航空の利用は減少す
る。国内線運賃に関しては、 w がゼロの場合はコスト競
争力を生かして鉄道は低価格戦略に出るが、 w が大き
くなるに従い、その傾向は弱まると言える。国内航空運賃
は w が増加するに従い、低下する傾向にあるが、その低
下傾向は弱く、 $w=400$ 以上では逆に増加に転じている。
これは次に述べる国際線との関係によるものと考えられ
る。

国際線に関しては、その挙動は空港1と空港2で異なる。
空港1発着の国際線での運賃はほとんど変化がないが、
空港2発着の場合は w が大きくなるに従い、低下する傾
向にある。これはアクセスが不利な空港2での利用客が
減少し、それに対応するための運賃引き下げであると考
えられる。さらに、乗り継ぎサービスについてみると、
乗り継ぎ空港の違いにより、変化の傾向が異なる。空
港2に関しては w の増加により鉄道と航空との乗り継ぎ利
便性が低下すると国際線でのrail-and-airの利用は単調に減
少する。一方、air-airに関しては空港1のアクセスが鉄道
利用とあまり差がないために増加する傾向にあることが
わかる。最終的に鉄道利用の優位性が高い ($w=500$) と
このair-airも減少留守ことがわかる。一方、空港1に関
してはrail-airサービスに関しては単調増加傾向にあるこ
とがわかる。すなわち空港1を発着空港とするサービス
に関してはHSRと航空輸送が連動しているということが考
えられる。1-2間の乗り継ぎ旅客数が w が増加しても大幅
に減少しないのは、 w の増加により航空運賃が低下する
ためであると考えられる。

空港利用者数とアクセス改善に関しては次のように考
えることができる。今、 w が大きき値となっている場合、
 w を小さくする、すなわち空港2とCDBおよびHSRとの
接続性を改善することは、空港2からの国際線旅客数を
増加させることにつながる（同時に空港1への接続旅客
数を減少させる）と言える。しかし、これに関しては、
空港でのターミナル需要の影響が無視できないと予想さ
れる。

(3) ターミナル需要と拠点性に関する検討

次にターミナル需要の違いとアクセス性が空港の拠点
性に与える影響について検討する。ここで言う拠点性
とは「国際線利用の拠点」として利用されることを指す
ものとする。本節では2空港が立地するゾーン間でのター
ミナル需要の差による拠点性成立の違いと、その違いが
アクセスの改善によってどのように変化するかを、国際
線旅客の発着空港選択に着目して検討する。

図-3は空港2発着の国際線旅客のシェアの変化を w に関
して表したものである。図中の凡例に示す値はゾーン1
の国際線需要である。ゾーン2の国際線需要は5000に固
定されている。

まず、ゾーン間のターミナル需要に差がない（基本ケ
ース）場合、アクセスの改善は両空港のシェアがほぼ同
じになる方向に働くことがわかる。すなわち、現在拠点
性が弱い空港がある場合、その主たる理由がアクセスの
悪さにあるのであれば、拠点性の回復はアクセスの改善
によって実現される可能性があることを意味する。しか
し、この改善の可能性はターミナル需要の差が拡大する

表-5 結果一覧(基本ケース)

w	0	100	200	300	400	500
利潤						
airline A/B	3961566.5	3891418.4	3684672.8	3477123.0	3438150.2	3278511.4
HSR	1895997.2	2230911.9	2797878.0	3383257.2	4116052.7	5129442.5
国際線旅客						
airline A/B	9415.9	9482.5	9462.4	9481.8	9497.3	9512.2
Total	18831.8	18964.9	18924.7	18963.6	18994.7	19024.5
国内線旅客						
airline A/B	15748.9	15088.6	13578.5	12587.3	11268.9	9689.9
HSR	21507.1	23992.1	27510.6	30052.5	33075.2	36290.1
Total	53004.9	54169.2	54667.5	55227.0	55613.0	55669.9
内際乗り継ぎ旅客						
air-air (1-2-3)	352.1	475.1	461.7	473.7	492.9	369.4
air-air (2-1-3)	440.9	435.5	436.0	450.1	410.1	408.4
rail-air (1-2-3)	480.8	339.5	188.9	102.6	59.0	25.3
rail-air (2-1-3)	372.6	428.5	546.6	665.0	744.8	946.4
運賃						
1-2 air	106.7	99.2	99.7	97.6	98.6	105.1
1-2 rail	81.7	87.4	96.5	107.1	118.7	134.2
1-3 air	1218.1	1224.6	1230.0	1224.6	1227.4	1222.6
2-3 air	1218.2	1224.4	1186.9	1158.5	1155.0	1113.7

注：内際乗り継ぎ以外は往復旅客数を示している。内際乗り継ぎ旅客数はアウトバウンドのみ表示。

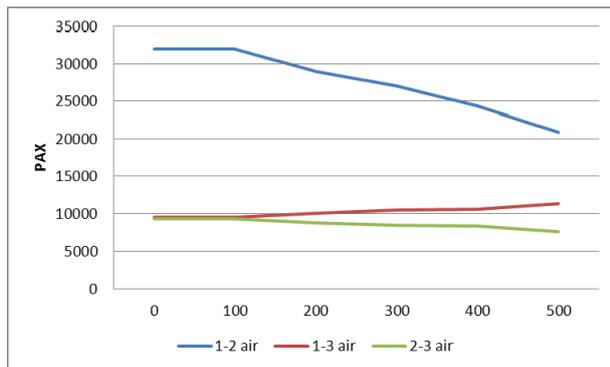


図-2 航空輸送における路線別交通量の変化

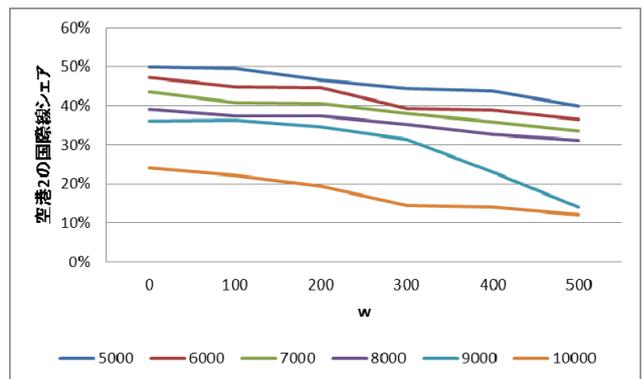


図-3 空港2発着の国際線旅客シェア

につれて低下することがわかる。例えば、ターミナル需要の差が2倍に達する場合（10000のケース）、 $w=500$ では空港2の国際線シェアがわずかに10%であるが、 $w=0$ に大幅に改善してもそのシェアは25%程度にしか回復しない。これは、アクセスの改善による集客効果よりもターミナル需要の大きさによる規模の経済性の影響の方がはるかに大きいため、シェアの回復が難しいことを示している。ただし、シェアの回復のパターンには複数のパターンが存在し、例えば9000の場合、 $w=500$ では10%程度であったシェアが $w=200$ では40%近くまで回復している。このようにアクセスの改善で大幅にシェアの回復が見込まれる場合も存在するため、現在の状況がどのパターンに属するのか、精査することが必要であることがわかる。

なお、より詳細な出力に対する紹介は講演時に行うものとする。

4. おわりに

本稿では空港と鉄道との接続性に着目し、接続性の改善が空港の拠点性に与える影響について検討を加えた。その結果、接続性改善による拠点性の回復は期待できるものの、回復の程度は空港間のターミナル需要の差と接続性の程度によっていくつかのパターンに分かれることがわかった。

Appendix 使用変数一覧

変数	意味	変数	意味
rs	ODペア（起点 r 終点 s ）	k	rs OD市場で設定される経路
Ω	ODの集合	K^{rs}	rs OD市場で設定される経路の集合
$l(l^R)$	航空会社 n （あるいは HSR）によって運航されるリンク	$l(l^R)$	航空会社 n （あるいは HSR）の運航するリンクの集合
x_k^{rs}	rs ODペアで経路 k を利用する旅客数	Γ^{AV}	旅客が利用可能なリンクの集合
x_{l^n}	リンク l^n の旅客フロー	X^{rs}	rs OD市場でのOD旅客数
u_k^{rs}	rs OD市場で経路 k を利用する旅客の不効用（混雑を除く）	\hat{x}_k^{rs}	rs OD市場での経路 k の最適旅客数
f_{l^n}	リンク l^n の運航頻度	N	航空会社の集合
$p_{l^n} (p_{l^n}^R)$	l^n での航空運賃（あるいはHSRの運賃）	w_k^{rs}	rs OD市場での経路 k での CBD（同時に HSR 駅）との接続に係わる費用
v_{l^n}	l^n での1機材の座席数	$C_{l^n}^{OP}$	リンク l^n の1機材あたりの運航費用
$\alpha_{i(i=1,2,3)}$	式(5)で用いられる不効用の関数内のパラメータ	t_k^{rs}	アクセス時間を含む rs OD市場での経路 k の旅行時間
p_k^{rs}	rs OD市場で経路 k を利用する旅客の経路運賃	θ	SUEで用いられる分散パラメータ
$\delta_{l^n}^{rsk}$	rs OD市場で経路 k がリンク l^n を含む場合1をそれ以外はゼロを取るバイナリ変数	λ_{l^n}	リンク l^n の混雑費用
$G(\mathbf{f}^n, \mathbf{p}^n)$	航空会社 n の持つ頻度や運賃に関する制約を一般化して示した関数。	$\tilde{\mathbf{f}}^{-n}$ and $\tilde{\mathbf{p}}^{-n}$	航空会社 n のライバル会社（HSRを含む）“- n ”の頻度および運賃に関する最適戦略
R	HSR運行会社を表すインデックス	$\Gamma(x_k^{rs})$	旅客の経路選択行動を表す最適反応関数

参考文献

- 1) 武藤雅威, 内山久雄: 新幹線と航空の競合時代を反映した国内旅客幹線交通の現状と展望, 運輸政策研究, Vol. 4 No.1, pp. 2-7, 2001.
- 2) JR東海: ファクトシート2010.
- 3) Chen, Y. H: High-speed rail in Taiwan: new experience and issues for future development, Transport Policy 17, pp.51-63, 2010.
- 4) Adler, N., Pels, E., Nash, C.: High-speed rail and air transport competition: Game engineering as tool for cost-benefit analysis, Transportation Research Part B 44, pp.812-833, 2010.
- 5) Dobruszkes, F. : High-speed and air transport competition in Western Europe: a supply-oriented perspective, Transport Policy 18, pp.870-879, 2011.
- 6) Jiang, C., Zhang, A.: The effects of high-speed rail and air transport cooperation under airport capacity constraint, Proc. of ATRS 2012, paper ID 313, 2012 (CDROM).
- 7) Mikio Takebayashi: The future relations between air and railway transport in the island country Proc. of ATRS 2012, paper ID 143, 2012 (CDROM).
- 8) 橋下徹: わが国の国家戦略に対する提案と大阪・関西における地域経営戦略プロジェクト, 大阪府関空・伊丹プロジェクト 2009年11月18日付公表資料 <http://www.pref.osaka.jp/attach/8180/00038231/kankuitami.pdf>.
- 9) Mikio Takebayashi: Network Design Strategy under Asymmetric Operating Cost Structure: Model Analysis, Proc. of ATRS 2011, Sydney, paper ID 148, 2011.

IMPROVEMENT OF CONNECTIVITY BETWEEN AIR AND HIGH-SPEED RAIL TRANSPORT AND ITS IMPACT ON PASSENGER TRANSPORT MARKET

Mikio TAKEBAYASHI

This paper copes with the improvement of connectivity between air and high-speed rail (HSR) transport and its impact on passenger transport market. In particular, we discuss the relation between the connectivity and gateway effect of airport. The bi-level air transport model is applied to the three zones hub-spokes network market. The results suggest that the improvement of connectivity between air and HSR increases the number of international passengers using the airport improved its connectivity to HSR and strengthen its gateway effect. However, the results also suggest that the intensity of its gateway effect depends on the terminal demand at the airport.