

# 高速鉄道と航空会社の協力関係が社会的便益に与える影響

The Effects of Cooperation between High Speed Rail and Airline on Social Benefit

北海道大学工学部  
北海道大学大学院工学院  
北海道大学大学院工学研究院

○学生員 芦谷雄世 (Yusei Ashitani)  
学生員 峪 龍一 (Ryuichi Tani)  
正 員 内田賢悦 (Kenetsu Uchida)

## 1. はじめに

1964 年、世界で最初的高速鉄道である東海道新幹線が東京・大阪間で開業し、以後、高速鉄道のネットワークは日本、ヨーロッパや中国など様々な地域で拡大してきた。また、今後は東南アジア、南アジア、南北アメリカなど世界各地で新たな高速鉄道の建設も計画されている。そのような中で、従来は航空機が主な交通手段であった都市間輸送の市場において、高速鉄道と航空会社が競合するような状況が世界中で増加している。例に挙げた東京・大阪間では、両地域を移動する旅客の 71.6%<sup>1)</sup>が新幹線を利用している。東京・名古屋間は新幹線の所要時間が約 1 時間半であり、新幹線のシェアが大半を占めるが、ある程度の航空便数が維持されている。これは東京の成田空港や羽田空港を利用する国際線乗継客の利便性を図るためといった事情がある。

現在、世界各地の高速鉄道と航空会社の大半は非協力的な競争関係にあるが、それぞれの利潤や社会的便益を考えた場合に、双方が協力関係を戦略的にとることも考えられる。高速鉄道が公共部門によって運営される場合は社会的便益を考慮してとるべき戦略を検討するとともに、航空会社側の利潤にどのような影響を及ぼすかを検討することも重要である。また、高速鉄道が民間企業によって運営されている場合、それぞれの企業は利潤最大化を目的として戦略を検討するため、双方の利潤にどのような影響を及ぼすかに加え、それによって社会的便益がどのように変化するかについて検討することも重要である。

Takebayashi<sup>1)</sup> は高速鉄道と航空会社の利潤最大化について、旅客会社の関係を一般化ナッシュ均衡、利用客の行動についてはロジットモデルを用いた、確率的利用者均衡を考え、協力・非協力のそれぞれの状況を検討し比較した。また Xia and Zhang<sup>2)</sup> も同様に、効用関数を用いて利用客の交通経路選択を考えている。高速鉄道と航空会社の協力の組み合わせとして、前者の論文では高速鉄道と国外の航空会社を、後者の論文では高速鉄道と国内の航空会社をそれぞれ想定している。これらの論文においてはそれぞれの組み合わせにおける協力と非協力の違いについては検討されているが、協力の組み合わせ同士、すなわち高速鉄道が国外航空会社と国内航空会社のどちらと協力するかによって生まれる差異に関しては検討されていない。そこで今回は上記の二つの論文と同様の単純化した交通ネットワークモデルを用い、Takebayashi<sup>1)</sup>と同様なアプローチによりその双方を比較検討することで、各社の利潤や社会的便益に生じる差異を検討するこ

とを目的とした。

また、Takebayashi<sup>1)</sup>では高速鉄道のオペレーションコストについては十分小さいものであると仮定し、これをモデル中に考慮していないが、コスト全体としてみた場合、高速鉄道は航空会社と比較して多額の建設費が必要となり、企業としての収益を考えた場合オペレーションコストのみを単純に比較するだけでは、分析上では適切とは言えない。そこで、本研究ではコストを固定費と変動費に分けて設定することにより、固定費が大きく、変動費が小さい高速鉄道と、固定費が小さく、変動費が大きい航空会社の違いを表現するものとした。また、航空会社と高速鉄道による交通輸送サービスの違いを垂直的差別化として考えた Xia and Zhang<sup>2)</sup>の想定をふまえ、航空会社に加えて高速鉄道においても運転本数を変数として考慮する。これによって各交通機関におけるサービスの変化を完全な垂直的差別化によるものであるとしてモデル化し、加えて便数、運転本数の増減による利潤、社会的便益への影響についても検討する。

モデルの大枠として、滑走路の混雑などの諸条件を考慮した航空会社と利用客の行動に関する先行研究 Takebayashi<sup>3) 4)</sup>に倣い Bi-level モデルを適用することとする。

## 2. モデルの仮定

本研究において設定した仮定を以下に示す。

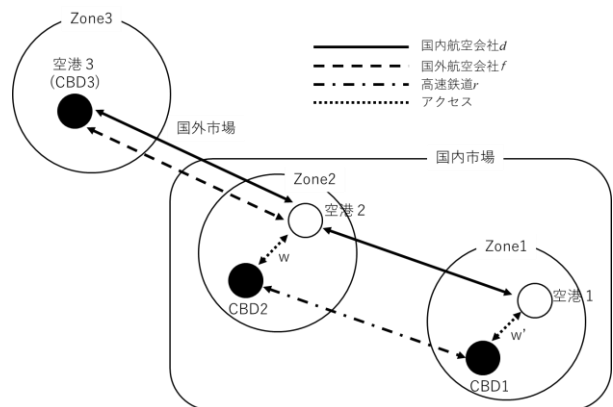


図-1 旅客会社と市場のネットワークモデル

- 図-1 のようなネットワークモデルを想定する。
- 交通市場を国内と国外に分け、国内市場には Zone1 と Zone2 の二つのエリアを設定する。
- Zone1 と Zone2 のそれぞれに Central Business

District(CBD)と空港を一か所ずつ設定する。

- ・ 国内市場においてサービスを提供する主体として国内航空会社  $d$  と高速鉄道  $r$  を設定し、国外市場において国内航空会社  $d$  と国外航空会社  $f$  を設定した。
- ・ 高速鉄道の駅は CBD 内にあるものとし、空港は CBD とは離れた位置にあると想定する。
- ・ 国内の移動 (CBD1 $\leftrightarrow$ CBD2) には高速鉄道または国内航空会社  $d$  が提供するサービスを利用することができる。
- ・ 国内外の移動 (空港 2 $\leftrightarrow$ 空港 3) には国内航空会社  $d$  または国外航空会社  $f$  が提供するサービスを利用することができる。
- ・ 交通サービスを提供する会社それぞれが利潤最大化行動をとる場合 (非協力的状況) と、航空会社  $d$  と高速鉄道  $r$  が協力して利潤最大化行動をとる場合 (協力的状況)、航空会社  $f$  と高速鉄道  $r$  が協力して利潤最大化行動をとる場合 (協力的状況) を想定する。

### 3. モデルの定式化

#### 3.1 記号

本稿で用いる記号を以下に示す。

|                      |                                                           |
|----------------------|-----------------------------------------------------------|
| $\Omega$             | OD ペアの集合                                                  |
| $Z$                  | 交通サービスを提供する会社の集合 (高速鉄道: $r$ , 国内航空会社: $d$ , 国外航空会社: $f$ ) |
| $Z_a$                | 航空会社の集合 (国内航空会社: $d$ , 国外航空会社: $f$ )                      |
| $\pi^z$              | 交通サービス提供会社 $z \in Z$ の利潤関数                                |
| $C_z$                | 交通サービス提供会社 $z \in Z$ 以外の交通サービス提供会社の集合                     |
| $L^z$                | 交通サービス提供会社 $z \in Z$ によって提供されるリンクの集合                      |
| $x_k^{rs}$           | OD ペア $rs$ のルート $k$ における交通量                               |
| $u_k^{rs}$           | OD ペア $rs$ のルート $k$ における利用者の効用                            |
| $f_{l^z}$            | リンク $l^z \in L^z$ における運転本数                                |
| $p_{l^z}$            | リンク $l^z \in L^z$ における運賃                                  |
| $v_{l^z}$            | リンク $l^z \in L^z$ における機材・車両のサイズ(航空機・列車の席数)                |
| $\alpha_i$           | 効用関数におけるパラメータ                                             |
| $p_k^{rs}$           | OD ペア $rs$ のルート $k$ における運賃の合計                             |
| $\delta_{l^z}^{rsk}$ | OD ペア $rs$ のルート $k$ がリンク $l^z$ を通るとき 1、そうでないとき 0 をとる変数    |
| $K^{rs}$             | OD ペア $rs$ のルートの集合                                        |
| $L_k^{rs}$           | OD ペア $rs$ のルート $k$ を構成するリンクの集合                           |
| $X^{rs}$             | OD ペア $rs$ における交通需要                                       |
| $w_k^{rs}$           | OD ペア $rs$ のルート $k$ における CBD との接続に掛かる一般化費用                |
| $C_z^{FIX}$          | 交通サービス提供会社 $z$ の固定費                                       |
| $C_{l^z}^{OP}$       | リンク $l^z \in L^z$ におけるオペレーション                             |

|                   |                                            |
|-------------------|--------------------------------------------|
|                   | コスト(変動費)                                   |
| $t_k^{rs}$        | OD ペア $rs$ のルート $k$ におけるアクセス/イグレス時間を含む所要時間 |
| $\theta$          | 確率的利用者均衡モデルにおける分散パラメータ                     |
| $f^{L^z}$         | リンク集合 $L^z$ に設定する運行頻度ベクトル                  |
| $p^{L^z}$         | リンク集合 $L^z$ に設定する運賃ベクトル                    |
| $\tilde{f}^{C_z}$ | 交通サービス提供会社の集合 $C_z$ が保有するリンク集合の運行頻度ベクトル    |
| $\tilde{p}^{C_z}$ | 交通サービス提供会社の集合 $C_z$ が保有するリンク集合の運賃ベクトル      |
| $\Delta U^P$      | 利用者余剰                                      |
| $\Delta U^Z$      | 交通機関 $z$ の供給者余剰                            |
| $W$               | 交通機関同士が協力状態であることを示す                        |
| $WO$              | 交通機関同士が非協力状態であることを示す                       |

#### 3.2 交通機関運営会社の利潤の定式化

すべての企業が非協力のとき、各社の利潤の関数は式(1)で表される。

$$\max_{f^{L^z}, p^{L^z}} \pi^z(f^{L^z}, p^{L^z}; \tilde{f}^{C_z}, \tilde{p}^{C_z}) \quad \forall z \in Z \quad (1)$$

航空会社  $n \in Z_a$  と高速鉄道  $r$  が協力するとき、航空会社と高速鉄道は利潤の合計を事実上、一社の利潤として想定するため、各社の利潤の関数はそれぞれ式(2),(3)で表される。

$$\max_{f^{L^n}, f^{L^r}, p^{L^n}, p^{L^r}} \pi^n + \pi^r \quad (2)$$

$$\max_{f^{L^n}, p^{L^n}} \pi^n \quad (3)$$

以上の式において、利潤  $\pi$  は式(4)のように定式化される。

$$\begin{aligned} & \pi^z(f^{L^z}, p^{L^z}; \tilde{f}^{C_z}, \tilde{p}^{C_z}) \\ &= \sum_{rs \in \Omega} \sum_{k \in K^{rs}} \sum_{l^z \in L^z} p_{l^z} x_k^{rs} \delta_{l^z}^{rsk} \\ & \quad - \left( C_z^{FIX} + \sum_{l^z \in L^z} C_{l^z}^{OP} f_{l^z} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

#### 3.3 利用者の効用の定式化

利用者の行動は以下に示すような確率的配分モデルとして定式化する。

$$\begin{aligned} & \min \Gamma(x_k^{rs}) \\ &= \frac{1}{\theta} \sum_{rs \in \Omega} \sum_{k \in K^{rs}} x_k^{rs} (\ln x_k^{rs} - 1) + \sum_{rs \in \Omega} \sum_{k \in K^{rs}} u_k^{rs} x_k^{rs} \end{aligned} \quad (5)$$

OD ペア  $rs$  のルート  $k$  における利用者の効用は式(6)で表せる。

$$u_k^{rs} = \alpha_1(t_k^{rs} + w_k^{rs}) + \alpha_2 p_k^{rs} + \sum_{l \in L_k^{rs}} \frac{\alpha_3}{f_l} \delta_l^{rsk} \quad (6)$$

また各 OD ペアにおける需要は一定であり、制約条件は

式(7)のように定式化される。

$$\sum_{k \in K^{rs}} x_k^{rs} = X^{rs}, \quad \forall rs \in \Omega \quad (7)$$

### 3.4 社会的便益の定式化

効用の差から、協力的行動による消費者余剰の変化(利用者便益)は式(8)のように定式化される。

$$\Delta U^P = \sum_{rs \in \Omega} \frac{\mu X^{rs}}{\alpha_2} \left\{ \ln \sum_{k \in K^{rs}} \exp(-u_k^{rsW}/\mu) - \ln \sum_{k \in K^{rs}} \exp(-u_k^{rsWO}/\mu) \right\} \quad (8)$$

利潤の差から協力的行動による生産者余剰の変化は式(9)のように定式化される。

$$\Delta U^Z = \sum_{z \in Z} (\pi^{zW} - \pi^{zWO}) \quad (9)$$

以上より、協力的行動による社会的便益は式(10)で表せる。

$$\Delta U = \Delta U^P + \Delta U^Z \quad (10)$$

## 4 まとめと今後の課題

本研究では、従来、提案されてきた高速鉄道と航空会社に関するモデルを発展させる形で、協力企業の組み合わせの違いによる各企業の収益や社会的便益の変化について評価する手法を提案した。純粹に垂直的差別化された状態に近付けるため、コスト構造を改良し、新たに運転本数の変化が収益や社会的便益に及ぼす影響についても検討できるモデルとして定式化した。

航空機同士や航空機と高速鉄道の乗継に関して、提案するモデルでは運賃は単純に足し合わされるものとしてモデル化している。しかし、実際には同一会社のサービスを連続して利用した場合、運賃の割引がなされるのが通例であるため、運賃の非加法性に関する検討が必要である。また、近年航空業界では Low Cost Carrier (LCC) の台頭が著しい。サービスの質的な観点から、従来の Full Service Carrier (FSC) とは異なる特徴を持つ。そのため、所要時間と運賃の違いによる単純な垂直的差別化として処理することは難しく、新たに移動時間信頼性などの要素を変数として検討する必要がある。

## 5 参考文献

- 1) 国土交通省：第五回（2010 年）全国幹線旅客純流動調査 幹線旅客流動の実態  
([http://www.google.co.jp/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiBqajA4JbmAhVZwosBHRdmCJQQFjABegQIARAC&url=http%3A%2F%2Fwww.mlit.go.jp%2Fcommon%2F001005632.pdf&usg=AOvVaw2S\\_MQPaud6xzbUPVZHkiV](http://www.google.co.jp/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiBqajA4JbmAhVZwosBHRdmCJQQFjABegQIARAC&url=http%3A%2F%2Fwww.mlit.go.jp%2Fcommon%2F001005632.pdf&usg=AOvVaw2S_MQPaud6xzbUPVZHkiV))
- 2) Mikio Takebayashi, 2014. The future relations between air and rail transport in an island country. Transportation Research Part A 62, 20-29
- 3) Wenyi Xia, Anming Zhang, 2016. High-speed rail

transport competition and cooperation: A vertical differentiation approach. Transportation Research Part B 94, 456-481

- 4) Mikio Takebayashi, 2011. The runway capacity constraint and airlines' behavior: choice of aircraft size and network design. Transport Research Part E 47, 390-400
- 5) Mikio Takebayashi, 2012. Managing the multiple airport system by coordinating short/long-haul flights. Journal of Air Transport Management 22, 16-20