

# 地方路線における都市間交通事業者間の スケジュール競争モデル

大窪 和明<sup>1</sup>

<sup>1</sup>正会員 埼玉大学助教 理工学研究科 (〒 338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255)  
E-mail: okubo@dp.civil.saitama-u.ac.jp

同一の路線を運行する複数の航空会社が、比較的近い時間帯に出発時刻を設定することが指摘されてきた。本研究では、事業者間での出発時刻の近接性が、地方から都市間を移動する際に利用するバスと鉄道との間にも見られることを指摘する。また、各事業者が利潤を最大化するように運賃と出発時刻を設定するような状況をモデル化し、目的地までの所要時間の差異などの要因が、事業者の設定する運賃や出発時刻にもたらす影響を分析する。さらに、旅客の到着可能な時間帯という観点から見ると、一方の事業者のサービス水準の改善が事業者間の競争を強め、逆に社会厚生を悪化させてしまう可能性を示す。

## 1. はじめに

### (1) 社会的背景

地方部と都市部には、それぞれの良さがあり、出来るだけ利便性の高い都市間交通サービスを提供し、地域間の流動を促していくことが望ましい。しかし、現在、人口の減少などを背景とする都市間交通サービスの利用者数の減少に伴って、都市間を移動するための鉄道などの頻度の減少や事業者の撤退による利便性の低下が見られるようになってきている。こうした中、事業者間の競争だけに任せて都市間交通サービスを提供していくのではなく、社会的に見て望ましいサービスになるよう適切な政策を考えていく必要がある。

本研究では地方部と大都市を結ぶような都市間交通サービスの提供について考える。具体的には、多くの地方部と大都市との間の移動には鉄道とバスの両方を利用できることが多い。例えば、千葉県 JR 勝浦駅から東京駅までは、JR 外房線特急と鴨川日東バスなどによる高速バスの運行がある。JR 勝浦駅から東京駅まで鉄道を利用したときの所要時間は 2005 年、2015 年ともに 1 時間 30 分程度で移動できる。一方、バスを利用した場合には、2005 年は所要時間が約 2 時間 30 分ほどだったものが、圏央道の開通に伴ってバスの所要時間が短縮され、2015 年には約 1 時間 50 分程度で移動できるようになり、バスと鉄道との所要時間の差異が短縮された。

JR 勝浦駅を出発する時刻を 2005 年と 2015 年で比較すると図-1 のようになる。2005 年よりも 2015 年の方が、鉄道とバスの両者の出発時刻が近接していることがわかる。具体的には、2005 年に午前 11 時に出発し

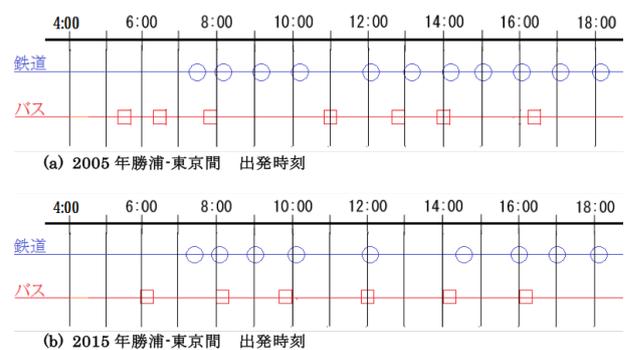


図-1 JR 勝浦駅発-東京駅着の鉄道とバスの出発時刻

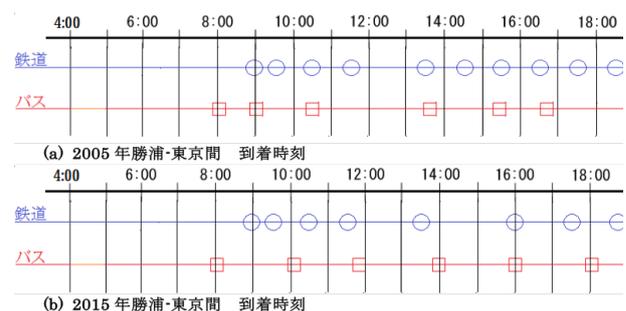


図-2 JR 勝浦駅発-東京駅着の鉄道とバスの到着時刻

とするバスがあったが、2015 年には午前 11 時のバスは無く、午前 10 時または正午のバスを利用する必要がある。2015 年には、午前 10 時または正午のバスもあり、午前 11 時に出発したい旅客は不便になったものと

思われる。一方、図-2に各交通サービスを利用したときの到着時刻を示す。この図から、2005年には午前11時30分から午後1時30分までの間は、どちらの交通機関を使用しても到着することはできない。2015年には、この時間帯だけでなく、午後2時から午後4時の間も到着することができない。

以上から、バスの所要時間が短縮され、利便性は向上しているようにも見えるが、両者の出発時刻または到着時刻が近接したため、旅客が希望する出発時刻に出発できない、または到着できないことが課題になっているように思われる。そこで、本研究では所要時間の短縮が事業者間の運賃や出発時刻の設定にもたらす影響を分析するためのモデルを提案するとともに、社会厚生観点から望ましい運賃または出発時刻の設定について議論する。

## (2) 既存研究

事業者間での時刻表の設定、すなわちスケジュール競争に頻繁に用いられる代表的なモデルとして Hotelling<sup>1)</sup>によるモデルがある。このモデルで運賃が固定された状況下において次元空間上への小売店の配置を扱ってはいるものの、出発時刻の設定という文脈で解釈すると、事業者が同じ出発時刻に集中することを示したものと解釈できる。d'Aspremont et al.<sup>2)</sup>では、運賃と出発時刻を決める問題を定式化し、スケジュール費用が線形の状況下においては安定な均衡解が定まらないことを明らかにした。また、旅客の希望出発時刻と交通サービスの出発時刻との差異に関してスケジュール費用が増加する状況下において均衡解が一意的に決まるが、出発時刻は一点に集中せず、時間軸の端点にそれぞれの出発時刻が設定されることを示した。

それ以降、de Palma et al.<sup>3)</sup>においては、分析者が観測できない利用者の異質性を考慮し、その異質性が十分に大きいときに鉄道とバスは出発時刻を同時刻に設定するという結果が得られた。また、Reeven and Janssen<sup>4)</sup>において、出発時刻だけでなく、各交通サービスが質(シートの広さなど)によって差別化されるときに均衡解の性質が調べられている。また、Hendrik et al.<sup>5)</sup>においては競争条件に応じた均衡解の存在について分析している。以上から、均衡解の安定性が保証された一般的なモデルはなく、考える問題に応じたスケジュール競争モデルを提案することの必要性がわかる。

## 2. モデルの定式化

### (1) 旅客の行動

希望出発時刻および時間価値の異なる旅客が単一のODを鉄道またはバスを利用して移動する状況を考え

る。旅客は各事業者が設定する出発時刻  $x_r, x_b$ 、運賃  $p_r, p_b$  および目的地までの所要時間  $d_r, d_b$  を考慮し、一般化費用の小さい方の事業者が提供するサービスを使用すると考える。すなわち、希望出発時刻が  $x$  の旅客が事業者  $i$  のサービスを利用したときの一般化費用  $g_{ci}$  を

$$g_{ci}(x|p_i, x_i) = p_i + \beta|x - x_i| + \theta d_i, \quad \forall i \in \{r, b\} \quad (1)$$

と定義する。各希望出発時刻  $x$  には、時間価値の異なる旅客が  $\theta \in [\underline{\theta}, \bar{\theta}]$  で一様に分布していると考えられる。一般化費用  $g_{ci}$  を図示すると図-3のようになる。図-3に示すように、各事業者による出発時刻は時間軸  $x \in [0, 1]$  上で設定され、鉄道事業者の方が早い出発時刻が設定されると仮定する。また鉄道を利用の方がバスを利用するよりも短い所要時間で目的地に到達できると ( $d_r < d_b$ ) と仮定する。時間価値が  $\theta$  である旅客(図中の実線)は図-3中の実践で表されており、希望出発時刻との関係から一般化費用の安い方の交通サービスを利用する。一方、時間価値の低い  $\underline{\theta}$  のような旅客(図中の点線)は、希望出発時刻に関わらず運賃の低いバスを選ぶという状況を考えている。

旅客の希望出発時刻と各事業者の設定する出発時刻との関係から、3つの領域に分けることができる(図-4)。鉄道の出発時刻よりも希望出発時刻が早い旅客は、多くが鉄道を利用するが、ここでは時間価値の異質性を考えているため、鉄道の運賃が高い、所要時間が長くても構わないという理由でバスを選択する旅客も存在する。これらの旅客について鉄道とバスの利用が無差別となるような時間価値の閾値  $\theta_1^*$  は、領域1において  $g_{cr} = g_{cb}$  を満たすように、各事業者の運賃と出発時刻の関数として、

$$\theta_1^*(\mathbf{p}, \mathbf{x}) = \frac{1}{d_b - d_r} \{p_r - p_b - \beta(x_b - x_r)\} \quad (2)$$

として表せる。ここで  $\mathbf{p} = [p_r, p_b]^T$ 、 $\mathbf{x} = [x_r, x_b]^T$  であり、添字の  $T$  は転置を表す。領域1と同様に、希望出発時刻が鉄道とバスの出発時刻の間(領域2)、バスの出発時刻よりも遅い(領域3)のそれぞれの領域において、鉄道とバスが無差別になるような時間価値の閾値  $\theta_2^*, \theta_3^*$  は、

$$\theta_2^*(x, \mathbf{p}, \mathbf{x}) = \frac{1}{d_b - d_r} \{2\beta x + (p_r - p_b) - \beta(x_b + x_r)\} \quad (3)$$

$$\theta_3^*(\mathbf{p}, \mathbf{x}) = \frac{1}{d_b - d_r} \{p_r - p_b + \beta(x_b - x_r)\} \quad (4)$$

と表される。 $\theta_2^*(x, \mathbf{p}, \mathbf{x})$  は、 $\mathbf{p}, \mathbf{x}$  だけでなく、希望出発時刻  $x$  に応じて変わる。各領域について閾値を図示すると、図-4の様になり、 $\theta_1^*, \theta_3^*$  は、旅客の希望出発時刻に関して一定である一方、 $\theta_2^*$  は  $x$  の増加関数となっている。ここでは  $d_r < d_b$  という状況を考えており、時間価値が比較的大きい旅客が鉄道を利用し、図-4中の  $\bar{\theta}$

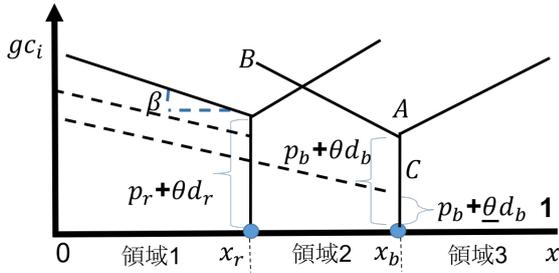


図-3 希望出発時刻と一般化費用との関係

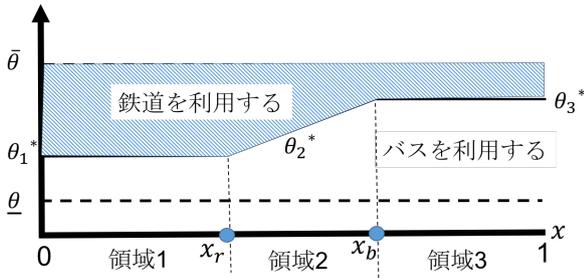


図-4 希望出発時刻と利用する交通機関との関係

と閾値との間の時間価値を持つ旅客が鉄道を利用する。したがって、図-4からは、希望出発時刻が  $x_r$  よりも早い領域 1 において多くの旅客が鉄道を利用し、 $x_r$  よりも希望出発時刻が遅い領域 2 においては、 $x_r$  と希望出発時刻との差が大きくなるほど鉄道を利用する旅客数が減っていくことが確認できる。

鉄道の方がバスよりも早いまたは同じ出発時刻を設定する ( $x_r \leq x_b$ ) と仮定した上での鉄道の需要関数  $D_r$  は、これらの 3 つの領域で閾値よりも時間価値の高い旅客の合計として、

$$D_r(\mathbf{p}, \mathbf{x}) = x_r(\bar{\theta} - \theta_1^*) + \int_{x_r}^{x_b} (\bar{\theta} - \theta_2^*) dx + (1 - x_b)(\bar{\theta} - \theta_3^*) \quad (5)$$

と表される。式 (5) の各項は左から、図-?? の領域 1, 2, 3 における鉄道の利用者を表している。各領域において閾値よりも時間価値の高い旅客が鉄道を利用している。同様に、バスの需要関数は  $D_b$  は、

$$D_b(\mathbf{p}, \mathbf{x}) = x_r(\theta_1^* - \underline{\theta}) + \int_{x_r}^{x_b} (\theta_2^* - \underline{\theta}) dx + (1 - x_b)(\theta_3^* - \underline{\theta}) \quad (6)$$

となり、時間価値の低い旅客の合計として表される。

## (2) 各事業者の行動

各事業者  $i$  は利潤が最大になるように運賃  $p_i$ 、出発時刻  $x_i$  を決めると考える。ただし、地方部の小規模の事

業者を想定し、少数の機材（車両、運転手など）を所有する事業者を考え、一つだけ出発時刻を設定できると考える。また、鉄道各社の運賃は営業キロに賃率を乗じることによって算出され、賃率は特定区間、幹線や地方交通線といった大きな区分で分けられており、各路線ごとに個別に設定しにくいものと思われるが、ここでは割引切符の発行などで、柔軟に運賃を変えることが許されているものとする。

各事業者  $i$  の利潤最大化問題は、運賃  $p_i$  から運行費用  $c_i$  を引いたものが需要一単位あたりのり順であるとして、次の問題を解くことによって運賃  $p_i$ 、出発時刻  $x_i$  を決めると考える。

$$\max_{p_i, x_i} \pi_i(\mathbf{p}, \mathbf{x}) = (p_i - c_i) D_i(\mathbf{p}, \mathbf{x}) \quad \forall i \in \{r, b\} \quad (7)$$

需要関数式 (5), (6) を踏まえた上で利潤関数を改めて書き直すと、

$$\max_{p_r, x_r} \pi_r(\mathbf{p}, \mathbf{x}) = (p_r - c_r) \left\{ \bar{\theta} - \frac{p_r - p_b}{\Delta d} + \beta \frac{(x_b - x_r)(x_r + x_b - 1)}{\Delta d} \right\} \quad (8)$$

$$\max_{p_b, x_b} \pi_b(\mathbf{p}, \mathbf{x}) = (p_b - c_b) \left\{ \frac{p_r - p_b}{\Delta d} - \underline{\theta} + \beta \frac{(x_b - x_r)(x_r + x_b - 1)}{\Delta d} \right\} \quad (9)$$

と表すことができる。ただし、 $\Delta d = d_b - d_r$  とおいた。

## 3. 各事業者の出発時刻および運賃

各事業者がお互いに出発時刻と運賃を同時に決定したときの運賃の Nash 均衡は、

$$p_r^* = \frac{1}{3} \left\{ 2c_r + c_b + (2\bar{\theta} - \underline{\theta}) \Delta d \right\} \quad (10)$$

$$p_b^* = \frac{1}{3} \left\{ c_r + 2c_b + (\bar{\theta} - 2\underline{\theta}) \Delta d \right\} \quad (11)$$

これらの式から時間価値が大きい旅客が一定割合存在する場合 ( $2\bar{\theta} - \underline{\theta} \geq 0$ ) には、バスと鉄道の所要時間の差が長くなるほど、鉄道は運賃を上げることができる。次に、出発時刻の Nash 均衡も一意に決まり、

$$x_r^* = x_b^* = \frac{1}{2} \quad (12)$$

2 つの事業者が時間軸の中心に出発時刻を設定する。

ただし、これらの Nash 均衡が成立するためには、 $\theta_1^*(\mathbf{p}^*, \mathbf{x}^*) \geq \underline{\theta}$ 、 $\theta_3^*(\mathbf{p}^*, \mathbf{x}^*) \leq \bar{\theta}$  という関係式が成立していなければならない。運行費用  $c_r, c_b$  と所要時間のパラメータ  $\Delta$  について

$$(c_r - c_b) \geq (2\underline{\theta} - \bar{\theta}) \Delta \quad (13)$$

$$(c_r - c_b) \leq (2\bar{\theta} - \underline{\theta}) \Delta \quad (14)$$

という関係を満たしておく必要がある。この関係式のどちらか一方でも満たされない場合には、 $\theta_1^*(\mathbf{p}^*, \mathbf{x}^*) = \underline{\theta}$

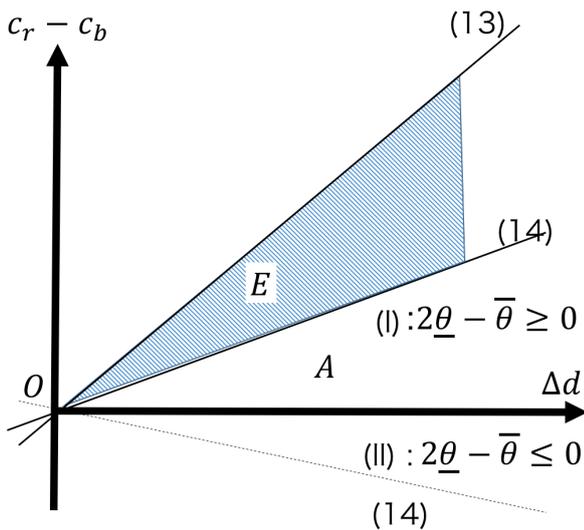


図-5 安定均衡が得られる範囲

または  $\theta_3^*(\mathbf{p}^*, \mathbf{x}^*) = \bar{\theta}$  を満たすような  $\mathbf{p}, \mathbf{x}$  について複数の組み合わせが考えられるが、安定な均衡は得られない。したがって、ここでは、式 (10), (11), (12) で与えられる解について議論する。

式 (10), (11), (12) が成り立つための条件式 (13), (14) を図示すると、図-5 の  $E$  の範囲になる。時間価値の範囲に関する定義より、式 (14) の傾きは常に正である。一方、式 (13) の傾きは、(I) 時間価値のパラツキが大きい場合 ( $2\theta - \bar{\theta} \leq 0$ ) と (II) 小さい場合 ( $2\theta - \bar{\theta} \geq 0$ ) に分けられる。(I) の場合には、所要時間の差  $\Delta$  が小さいにも関わらず、運行費用の差が大きい (運行費用  $c_r$  が  $c_b$  に比べて大きいときにのみ、式 (10), (11), (12) で表される均衡状態が達成されなくなる。また  $\Delta$  が小さい場合には、2つの事業者が同時刻に出発時刻を設定することは安定な均衡ではない。(II) の場合には、式 (13) の傾きは正になるため、均衡状態が成立しなく領域として、(I) での条件に加えて、運行費用の差に対して所要時間の差  $\Delta$  が大きい場合を示す領域  $A$  も含まれる。したがって、領域  $A$  の状態から高速道路の開通によるバスの所要時間の短縮は、 $d_b$  を小さくするだけでなく、運転手の拘束時間や燃料代を節約することになるため、 $c_b$  を下げ、 $c_r - c_b$  を大きくすることにつながり、領域  $E$  の状態になり、出発時刻が同時刻になるという可能性がある。ここでも、領域  $A$  において  $c_r$  と  $c_b$  との差異が  $\Delta d$  に比べて相対的に小さい場合には、同時刻の出発時刻から逸脱するインセンティブが各事業者に働くため、 $x_r = x_b$  のような均衡は安定でなく、別の時刻に設定するようになる。

#### 4. まとめ

本稿では、地方部から都市間を移動する際に利用するバスと鉄道との間にも出発時刻の近接性が見られることを指摘した。また、希望出発時刻と時間価値が異なる旅客がバスまたは鉄道を利用する状況において各事業者が運賃と出発時刻を設定するモデルを定式化し、均衡解の性質を明らかにした。発表会当日は、均衡状態と社会的最適状態における社会的費用と所要時間や運行費用の差異との関係性について報告する予定である。

#### 謝辞:

本研究は JSPS 科研費 25289157 の助成を受けたものです。ここに記して感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) Hotelling, H.: Stability in competition. *Economic Journal* 39, 41-57, 1929.
- 2) d'Aspremont, C., Gabszewicz, J. J., Thisse, J.-F.: On Hotelling's stability in competition. *Econometrica* 47, pp.1145-1150, 1979.
- 3) De Palma A., Ginsburgh, V.Y., Papageorgiou, Y.: The Principle of Minimum Differentiation Holds Under Sufficient Heterogeneity, *Econometrica*, vol.53, No.4, 1985.
- 4) van Reeve P. and Janssen M. C.W.: Stable Service Patterns in Scheduled Transport Competition, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol.40, pp.135-160, 2006.
- 5) van der Weijde, A. H., Verhoef, E.T., van den Berg V.A.C.: Hotelling Models with Price-Sensitive Demand and Asymmetric Transport Costs: An application to Public Transport Scheduling, *Tinbergen Institute Discussion Paper*, 2012.

(平成 28 年 4 月 22 日 受付)