

鉄道輸送市場への総額固定型キャッシュバック制度の導入が 社会的厚生に与える影響

An Effect of Cash-back System in the Rail Transportation Market on Social Welfare

北海道大学工学部

○学生員 立平 一真 (Kazuma Tashara)

北海道大学大学院工学研究院

正員 内田 賢悦 (Kintetsu Uchida)

1. はじめに

これまで、わが国の都市圏における鉄道輸送のサービス水準は、路線の新設、利便性の向上、安全対策の努力などにより、世界でも類を見ないほど高いレベルまで向上してきた。その一方で、近年、ラッシュ時間帯における混雑に起因する短時間の列車遅延が慢性的に発生しており、定時性への信頼が揺らぎかねない事態となっている。

これは、都心部駅周辺の高度集積化や沿線の宅地開発に伴い、鉄道の輸送能力や駅の容量を超えて利用者が集中することによる構造的問題である。そして、ラッシュ時間帯の利用者の多くは遅延リスクにより被る不利益が大きい通勤客であるため、同時間帯における日々の小規模な遅延による累積的な社会的コストも大きい。

高い効果が見込める混雑緩和策として、新線開発や複々線化などの大規模な輸送力増強が挙げられるが、巨額の資金と長い年月を要するためその実行は困難である。また、鉄道事業者は、駆け込み乗車への注意喚起や整列乗車の呼びかけにより乗降時間の短縮を図っているが、利用者の自発的な協力に頼った対策には限界がある。

そこで、遅延リスクを抑えた実現性の高いダイヤを設定したり、非接触 IC カード技術を用いて定期券利用者へ時刻別追加料金を徴収したりといった交通マネジメントが必要となる。

2. 既往研究

小林・奥村・永野¹⁾は、鉄道による通勤サービス市場が時間的に差別化されていることに着目し、朝ラッシュ時における家計の出発時刻の選択行動と鉄道企業の時刻別輸送サービスの供給行動の相互作用をモデル化することで、両者の自由な行動の結果実現する社会的厚生水準を求めた。さらに、時刻別の輸送力のコントロール (TSM 施策) や家計の行動パターンのコントロール (TDM 施策) の効果を、社会的厚生水準を用いてそれぞれ求めた。この研究では、駅間の所要時間には不確実性がないとされており、各家計の効用関数は列車の混雑度を変数とする部分効用関数とスケジュールコストとの和で与えられている。

そこで本研究では、上述の研究をもとにしつつ駅間の所要時間の確率分布などを考慮することにより、列車遅延が慢性的に発生しているラッシュ時間帯の鉄道輸送市場のモデル化をより現状に近い形で行い、同市場へ後述する新たな交通マネジメント手法を検討する。さらにこのマネジメント手法の導入が社会的厚生へ与える影響を定量的に評価可能なモデルの提案を行う。

3. 概要

3.1 提案

本研究では列車遅延リスクによる社会的損失を減らすための新たな交通マネジメント手法として、非接触 IC カード技術を用いた、朝の通勤ラッシュ時間帯における鉄

道事業者からの定期券代の総額固定型キャッシュバック制度の導入を提案する。

この制度は、キャッシュバックの単位時間当たりの総額を定め、その時間内に定期券で改札を通過した利用者還元するものである。本制度の利点としては、鉄道事業者の総負担額が予め分かっているということに加え、利用者にとっても仕組みが分かりやすいということが挙げられる。

3.2 目的

キャッシュバックを考慮した利用者の出発時刻の選択行動をモデル化し、各利用者が効用最大化行動をとる場合の朝の通勤ラッシュ時間帯における社会的厚生を求める。さらに、最適なキャッシュバック総額により与えられる社会的厚生を求め、外生変数の変化によるその挙動の分析を可能にする。

4. モデル化

4.1 使用する記号

N	定期券利用者の総数
P	自宅からの理想出発時刻
T	キャッシュバック制度の適用時間
t	理想出発時刻との乖離時間
$s(t)$	単位時間あたりの定期券利用者数
τ	時間価値
X	キャッシュバック係数
$\theta(s(t))$	遅延時間分布のパラメータ
$U(t)$	各利用者の効用関数
k	遅延リスクによる不効用のパラメータ
U_0	均衡状態での各利用者の効用
W	社会的厚生

4.2 前提

朝の時間帯における、郊外の A 駅と都心の B 駅とを結ぶ途中駅のない一本の通勤鉄道を想定する。同時間帯の定期券利用者の総数は N で固定されており、鉄道事業者の定期券収入も固定されている。

すべての定期券利用者は郊外に住んでおり、各利用者は遅くとも時刻 P までには A 駅に到着しなければならないと仮定する。自宅から A 駅までのアクセス時間と駅間の標準所要時間はともに 0 とみなす。また、自宅から A 駅への理想出発時刻を P とし、鉄道の営業開始時刻を $P-T$ とする。ここでの理想出発時刻とは、キャッシュバックと混雑による遅延リスクがともにない場合の出発時刻であり、時刻 P ちょうどに A 駅に到着できる時刻である。

4.3 出発時刻の選択行動

時刻 $P-t$ ($0 \leq t \leq T$) において、単位時間あたりの利用者数を $s(t)$ とし、各利用者が受けるキャッシュバックを $\tau X s(t)$ とする。また、「鉄道輸送において早着は生じないため鉄道の遅延時間は指数分布に従う」という高田・鈴木・

藤生²⁾の仮定を適用し、遅延時間は尺度母数 $\theta(s(t))$ の指数分布に従うとする。ここで、 $\theta(s(t))$ は $s(t)$ に関して狭義単調増加である。

各利用者は、列車の遅延リスクによる不効用と、自宅からの出発時刻を理想より早めることによる不効用を被る。遅延時間の期待値と標準偏差はともに $\theta(s(t))$ となることから、Fougera・Karlström³⁾が開発した the mean-variance approach と scheduling approach との統合アプローチを用いることにより、各利用者の金銭換算された効用 $U(t)$ を式(1)のように表すことができる。ここで α 、 β はそれぞれ、the mean-variance approach における旅行時間の平均と標準偏差に関するパラメータである。

$$\begin{aligned} U(t) &= \frac{\tau \cdot X}{s} - (\alpha \cdot \theta(s) + \beta \cdot \theta(s)) - \tau \cdot t \\ &= \tau \left(\frac{X}{s} - k \cdot \theta(s) - t \right) \end{aligned} \quad (1)$$

where

$$k = \frac{\alpha + \beta}{\tau}$$

4.4 社会的厚生

式(1)の1階の最適性条件は、式(2)で表される。

$$\frac{dU(t)}{dt} = \tau \left(-\frac{X}{s^2} \frac{ds}{dt} - k \frac{d\theta(s)}{ds} \frac{ds}{dt} - 1 \right) = 0 \quad (2)$$

式(2)を dt/ds について解くと、式(3)を得る。

$$\frac{dt}{ds} = - \left(\frac{X}{s^2} + k \frac{d\theta(s)}{ds} \right) \quad (3)$$

式(3)の右辺が負なので、 t と s は一対一に対応する。以下ではこのことに留意して議論を進める。総需要量が固定されていることから、式(4)が成立する。

$$\int_0^T s dt = N \quad (4)$$

ここで、 $t=0$ と $t=T$ の需要量をそれぞれ $s(0)=s_0$ 、 $s(T)=s_T$ と表すことにする。式(3)の両辺を区間 $[s_0, s_T]$ で定積分すると、式(5)が得られる。

$$\left[\frac{X}{s} - k\theta(s) \right]_{s_0}^{s_T} = T \quad (5)$$

また、式(3)を式(4)に代入することで式(6)が得られる。

$$\left[\int \theta(s) ds - s\theta(s) - \frac{X}{k} \ln s \right]_{s_0}^{s_T} = \frac{N}{k} \quad (6)$$

連立方程式(5)、(6)を解くことで、 s_0 と s_T を求めることができる。均衡状態における各利用者の効用 U_0 は、 $s_0 = s_0(X)$ を用いると式(7)で表すことができる。

$$U_0 = \tau \left(\frac{X}{s_0} - k\theta(s_0) \right) \quad (7)$$

以上から、時刻 $P-T$ から時刻 P における社会的厚生 W は式(8)のように求められる。

$$W = NU_0 - \tau TX \quad (8)$$

さらに、式(8)に関する式(9)で与えられる1階の条件から、社会的厚生を最大化する最適な X を求めることができる。

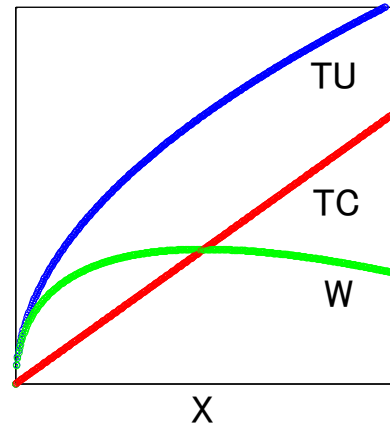
$$\frac{dW}{dX} = 0 \quad (9)$$

4.5 予想

式(8)の右辺において、第一項は利用者の総効用

(TU)、第二項は鉄道事業者の総費用 (TC) をそれぞれ表している。

ここで、 X と TU 、 TC 、 W の期待される関係は以下の図(1)のようになり、 TU と TC の傾きが一致する X において W が最大化される。



図(1) X と TU 、 TC 、 W の期待される関係

5. おわりに

本研究では、朝の通勤ラッシュ時間帯における鉄道輸送市場をモデル化し、これに総額固定型キャッシュバック制度を導入することによる社会的厚生を求めた。

今後は、具体的な鉄道路線とその利用者からパラメータの推定を行うことにより、本制度の具体的な効果を明らかにする必要がある。

また、モデル化において、自宅からの理想出発時刻をすべての利用者において同一としたが、この仮定を緩め、理想出発時刻の分布を一般化したモデル化を行いたい。

参考文献

- 1) 小林潔司、奥村誠、永野光三：鉄道通勤交通における出発時刻分布に関する研究、土木計画学研究・論文集、Vol. 14、pp.895-906、1997.
- 2) 高田和幸、鈴木孝典、藤生慎：鉄道の遅延時間を考慮した出発時刻決定行動に関するモデル分析、土木計画学研究・論文集、Vol. 68、pp.1071-1077、2012.
- 3) Mogen's Fougera, Anders Maelstrom : The value of reliability、Transportation Research Part B: Methodological、Vol.44、pp.38-49、2010.