

都市鉄道の列車遅延による社会的費用の計測

～東急田園都市線と東京メトロ半蔵門線を対象に～

○ [土] 富田 拓未 [土] 角田 隆太 (芝浦工業大学大学院)

[土] 岩倉 成志 (芝浦工業大学)

Estimating the social costs of train delay in urban railway

～A case study of Tokyu Den-en-toshi line and Tokyo Metro Hanzomon line～

○Takumi Tomita, Ryuta Tsunoda, Seiji Iwakura(Shibaura Institute of Technology)

In the Tokyo metropolitan area, train delays are occurred by high frequency operation and high congestion. However, Researches about travel time reliability of railway are limited. The purpose of this paper is to estimate the value of travel time reliability of urban rail passengers using scheduling model for Tokyu Den-en-toshi line and Tokyo Metro Hanzomon line, and to measure the social costs of day-to-day train delays. As a result of estimated social cost of train delay is 3200 million yen every year and 26300 million yen in a decade.

キーワード：都市鉄道，列車遅延，スケジューリングモデル，時間信頼性評価

Keywords：urban rail, train delay, scheduling model, Time reliability evaluation

1. はじめに

東京圏の都市鉄道は、朝ピーク時間帯の混雑緩和策のため高頻度運行や相互直通運転等を行ってきた。これらの対策は混雑の問題に大きな改善をもたらした一方で、これに起因する線路内混雑に伴う速度低下や遅延連鎖が新たな問題となっている。このことから慢性的な列車遅延により、利用者は朝ピーク時間帯の所要時間増大と同時に、旅行時間変動の増加にもつながっているなど、サービス低下が著しい。このような旅行時間信頼性評価に関して、道路交通の旅行時間信頼性に関する研究は数多く行われているが、都市鉄道の旅行時間信頼性を扱った研究は極めて少ない。また、都市鉄道の列車遅延が、列車が定時運行を行った場合と比較してどれほどの社会的費用を生じているのか明らかになっていない。

そこで本研究では、2010年に実施された第11回大都市交通センサスで初めて取り入れられた利用者の始業時刻データと、東急田園都市線および東京メトロ半蔵門線の列車ごとの遅延実績を用いてスケジューリングモデルを構築する。その結果から、利用者の都市鉄道に対する旅行時間信頼性価値の推計を行う。そして、現況の遅延発生時と定時運行時の消費者余剰を求めることで、都市鉄道の遅延による社会的費用を計測する。

以下、2.では、旅行時間信頼性に関する研究を整理する。3.では、スケジューリングモデルの構築及び時間信頼性価値について述べる。4.では3.で構築したスケジューリングモデルの結果を用いて、列車遅延による社会的費用の計測を行う。5.では本研究の成果について述べる。道の遅延による社会的費用を計測する。

2. 既存研究の整理

交通プロジェクト評価において、旅行時間信頼性向上の経済便益は時間短縮便益と比べても無視できないと言われている¹⁾。この旅行時間変動を計測する代表的アプローチ手法として、Small²⁾による平均-分散アプローチとNoland and Small³⁾によるスケジューリングアプローチが挙げられる。前者は早着遅着にかかわらず、旅行時間の不確実性そのものによって生じる旅行者の不便さが直接的にモデル化されているものである。一方で後者は、旅行時間変動が旅行者自身のスケジュール決定が効用に影響を与えると仮定され、旅行時間変動に伴う最も直接的な利用者行動変化である出発時刻選択行動に着目したモデル化である。近年ではFosgerau and Fukuda⁴⁾により、平均-分散アプローチとスケジューリングアプローチの両者を統合した統合アプローチも定式化されている。

以上のようなアプローチ手法を用いた都市鉄道の研究

として、わが国では主に高田⁵⁾ら、筆者ら⁶⁾がある。高田らは、統合アプローチを援用し出発時刻決定行動に関する期待効用を定式化している。一方で筆者らは、わが国における都市鉄道の列車遅延対策による定量的評価として、スケジューリングアプローチと統合アプローチによる時間信頼性評価を行っており、信頼性比の推計値はおおむね既存研究と同程度のものとなっている。また、遅延対策として固定閉そくの分割と移動閉そくの導入の2つの対策案を考え、両モデルによる経済便益の計測を行っている。本研究では、筆者らの研究におけるスケジューリングアプローチによるパラメータ推定結果を用いて、都市鉄道の列車遅延による社会的費用の計測を東急田園都市線および東京メトロ半蔵門線を対象におこなう。

3. スケジューリングモデルの構築

(1) 分析対象区間とデータ概要

(a) 大都市交通センサス

本研究では、スケジューリングアプローチを用いた出発時刻選択モデル構築のために、利用者の乗車時刻と始業時刻等を2010年に実施された第11回大都市交通センサスを用いた。パラメータ推定を行うにあたり、以下の条件1)~4)を満たすサンプルを抽出した。

- 1) 第1トリップにおいて、6:00~9:59の間に東急田園都市線および東京メトロ半蔵門線の中央林間駅~押上駅で乗車し、かつ当該区間を終着駅としている。
- 2) 移動目的が「通勤」、かつ「定期利用」である。
- 3) 乗車時刻・勤務先始業時刻・イグレス所要時間が明らかである。
- 4) アクセスとイグレスの交通手段において、所要時間動の影響が少ない徒歩または自転車を利用している。

以上の条件を満たすサンプル数は521となった。

(b) 運行実績データ

各駅間の旅行時間算出のため、東京急行電鉄株式会社と東京地下鉄株式会社から提供いただいた運行実績データを用いる。期間は2010年11月15日~12月17日の平日21日間である。

運行実績データとは、中央林間~押上駅までの各駅における秒単位の出発時刻と到着時刻が1列車毎に分かるものである。図1に運行実績データから算出した、長津田~半蔵門駅間の時間帯別の到着遅延時間(秒)と標準偏差 2σ (秒)を21日間で平均した値を示したものである。図を見ても分かる通り、朝ピーク時間帯に移るにつれて到着遅延時間が大きくなっていることが言える。また、標準偏差の値も大きく、特に8時30分~9時にかけては変動が激しくなっていることから、Day-to-dayの旅行時間の変動が大きいことが言える。

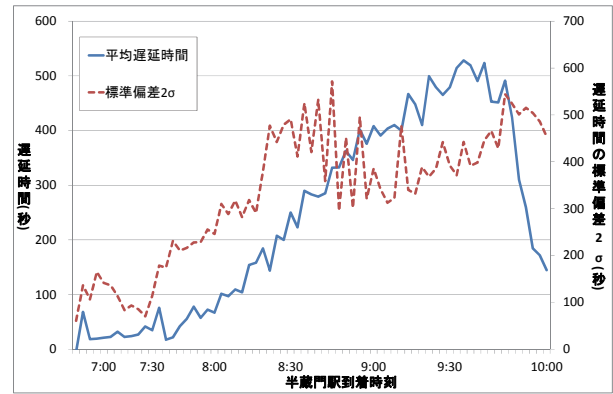


図1 長津田~半蔵門間の平均到着遅延時間

表1 スケジューリングアプローチのモデル推定結果

変数	パラメータ	t値
旅行時間T(分)	0.0781	4.35 **
早着時間SDE(分)	0.0332	16.13 **
遅着時間SDL(分)	0.0710	6.05 **
遅刻確率 P_L (%)	0.0192	6.70 **
サンプル数		521
自由度調整済み尤度比		0.308

**1%有意

(2) スケジューリングアプローチによるモデル構築

(a) スケジューリングアプローチによる効用関数

乗車時間6:00~9:59までを15分毎に区切った、16肢選択の乗車時刻選択モデルを構築する。なお、サンプルの降車駅への希望到着時刻(PAT)は、勤務先始業時刻からイグレス所要時間を差し引いた時刻と仮定した。また、乗車時刻の選択肢集合が不明であるため、全時間帯を選択可能としてパラメータ推定を行う。各選択肢の効用関数は式(1)の通り設定した。

$$V = -\alpha E[T] - \beta E[SDE] - \gamma E[SDL] - \theta P_L - \delta CRI \quad (1)$$

$E[T]$:期待旅行時間[分] $E[SDE]$:期待早着時間[分]

$E[SDL]$:期待遅着時間[分] P_L :遅刻確率[%]

CRI:混雑率指標 $\alpha, \beta, \gamma, \theta$:パラメータ

旅行時間 T は乗車駅から降車駅までの乗車時間、早着時間 SDE と遅着時間 SDL は利用者の降車駅への到着時刻と希望到着時刻の差である。これら3変数は、各時間帯15分間の期待値を3.(1)の平日21日間の運行実績データを用いて算出する。遅刻確率 P_L は、同じく運行実績データより、時間帯別の全列車の中から各利用者が希望到着時刻に間に合わない列車数を算出し、その比率を与えている。混雑率指標CRIは、混雑率と駅間所要時間の積を乗車区間で加算したものである。混雑率の高い列車に乗車する時間が長くなればなるほど、不効用は高くなる。

(b) スケジューリングアプローチによるパラメータ推定

スケジューリングアプローチによるパラメータを、多項ロジットモデル(MNL)を用いて推定した。その結果を

表 1 に示す。すべてのパラメータの符号条件が整合的であり、かつ有意な結果となった。遅着時刻のパラメータは早着時刻のパラメータよりも大きいことから、希望到着時刻からの遅着は同早着よりも大きな不効用として評価されていると言える。なお、混雑率指標 CRI についてはパラメータが有意とならなかったため、変数から除外している。

以上より推定されたパラメータから時間信頼性価値を算出する。早着時間の 1 分増加は旅行時間が 0.43 分増加することに等しい結果となった。同様に、遅着時間の 1 分増加は 0.91 分、遅刻確率の 1% 増加は 0.25 分増加することに等しい結果となった。時間価値を 40 円/分と仮定すると、早着時間の 1 分増加は 17.0 円、遅着時間の 1 分増加は 36.4 円、遅刻確率の 1% 増加は 9.8 円と等価となった。

4. 都市鉄道の遅延発生による社会的費用の算出

3. で述べたスケジューリングアプローチによるパラメータ推定結果を用いて、都市鉄道の遅延発生による社会的費用の算出を行う。この算出には、3.(1) で述べた第 11 回大都市交通センサスより、東急田園都市線および東京メトロ半蔵門線の通過客を含めた以下の条件 1)～3) を満たしたサンプルを抽出する。

- 1) 移動目的が「通勤」、かつ「定期利用」である。
- 2) 勤務先始業時刻が 6:00～12:00 である。
- 3) 1 回目の鉄道利用である。

以上の条件を満たすサンプル数は 4,992 となった。このサンプル数を拡大した利用者数 217,012 人を対象とし社会的費用の算出に用いる。なお、最混雑断面で今回抽出した利用者数と H23 年度の都市交通年報⁷⁾の通過人員を比較すると、約 27% 程度過小となっている。

以上の利用者数を、3.(2) で推定したスケジューリングアプローチによるパラメータを用いて、ログサム変数により現況の遅延発生時と定時運行時の消費者余剰を求め、社会的費用の算出を行う。定時運行した場合を with、現況の列車遅延発生時を without として考える。with、without ともに LOS は推定結果を用い、時間価値を 40 円/分と仮定し社会的費用の算出を行う。

表 2 に社会定期費用算出結果を示す。現況の列車遅延発生時と定時運行時の消費者余剰は、1 日あたり概ね 1,300 万円となり、通勤日数を年間 250 日とすると約 32 億円となった。これを 1 人あたりに換算すると社会的費用は約 1.5 万円となり、時間価値を 40 円/分と仮定すると約 372 分となった。また社会的割引率を 4% と仮定すると、10 年間で約 263 億円となった。これを 1 人あたりに換算すると社会的費用は約 12 万円となり、約 50 時間の損失となった。

表 2 都市鉄道の遅延による社会的費用の算出

	遅延による社会的費用	1人あたり社会的費用
年間	32億円	1.5万円
10年	263億円	12.1万円

5. おわりに

本研究では、東急田園都市線・東京メトロ半蔵門線の利用者を対象に、スケジューリングアプローチによるパラメータ推定及び時間信頼性価値の算出を行った。その結果、すべてのパラメータの符号条件が整合的かつ有意な結果となり、利用者は希望到着時刻からの遅着を同早着よりも大きな不効用として評価していることが分かった。

また、現況の遅延発生時と定時運行時の消費者余剰変化を求め、都市鉄道の列車遅延による社会的費用の計測を行った。その結果、遅延による社会的費用は年間約 32 億円、10 年間で約 263 億円となった。これはやや過小な試算結果であると考えられる。その理由は、自動車交通の旅行時間信頼性評価の手法を鉄道に転用している点にある。自動車利用者がスケジューリングを決定した中で、渋滞による所要時間の伸長の影響を評価しているのに対して、鉄道はダイヤで制御された中で所要時間の伸長を評価しなければならない点で、アプローチの適用上の問題が発生している。例えば、列車の遅延が発生している状態で、回復運転などを行うことで一部の列車の所要時間が実際の時刻表よりも短縮された場合や、列車が遅延して利用者がスケジューリングできない状況で結果的に早着時間が短くなった場合(希望到着時刻との乖離が小さくなった場合)に、現況の列車遅延発生時の不効用が定時運行時よりも小さくなってしまふことが挙げられる。しかし、現在の算出方法だと以上に挙げられるような問題点は考慮できていない。そのため、定時運行時の場合よりも現況の列車遅延時の場合のほうが、不効用が小さくなるサンプルが存在し社会的費用が過小な結果となっている。このことについては、今後検討する必要がある。

また、本研究では輸送障害については考慮していないこと、通勤・通学トリップのみを取り扱っていること、遅延の解消に伴って混雑率は改善するが、これを評価できていないことも過小評価となる要因である。

謝辞：東京急行電鉄株式会社および東京地下鉄株式会社の方々には、データのご提供および研究に対する数多くのご意見をいただいた。また、本研究は科学研究費基盤 B (課題番号: 25289160) の助成を得て行ったものである。ここに記して深謝の意を表する。

参考文献

- 1) 中山晶一朗・朝倉康夫：道路の信頼性評価，コロナ社，2014.
- 2) Small, K. A., Winston, C., and Yan, J. : Uncovering the distribution of motorists' preferences for travel time and reliability, *Econometrica*, Vol.73, No.4, pp.1367-1382, 2005.
- 3) Noland, R., Small, K., Koskenoja, P., and Chu, X.: Simulating travel reliability, *Regional Science and Urban Economics*, Vol. 28, No.5, pp. 535-564, 1998.
- 4) Fosgerau, M. and Fukuda, D. : Valuing travel time variability: Characteristics of the travel time distribution on an urban road, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol.24, pp.83-101, 2012.
- 5) 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，土木学会論文集 D3（土木計画学）Vol.68，No.5，pp.1071-1077，2012.
- 6) 岩倉成志，日比野直彦，仮屋崎圭司，福田大輔，森地茂，川村孝太郎，角田隆太，富田拓未：都市鉄道の列車遅延対策の定量的評価，土木計画学研究・講演集，vol.50，CD-ROM，2014.
- 7) （一財）運輸政策研究機構：平成 23 年版都市交通年報.