

始業時刻選択モデルによる列車遅延の改善効果の推計手法

建設工学専攻
土木計画研究

ME13055 つのだ りゅうた
角田 隆太
指導教員 岩倉 成志

1. はじめに

首都圏の鉄道では、ピーク時において慢性的な混雑と列車遅延が発生しており、利用者は未だ不便を強いられている。その解決のためには、複雑な線化や信号システム改良といった供給者側の対策だけではなく、需要側の対策、すなわち鉄道利用者を分散させる施策が考えられる。具体的には、時間帯別課金や、企業への事業所税優遇等の政策介入によって都心部の集中した始業時刻を分散させ、通勤者の鉄道利用開始時間を分散させるものである。政策の実施に向けて、事前に効果を定量的に予測することが不可欠であるが、始業時刻分散と列車遅延問題とを統合して解く研究は無い。

本研究では、朝ピーク時の列車遅延に係る主体の行動を表現する数理モデルを構築し、企業の始業時刻分散による列車遅延の改善効果を定量的に明らかにすることを目的とする。

2. 本研究で扱う主体と各々の行動

本研究では、図1に示すように通勤者のみならず通勤者の目的地である企業、通勤者を輸送する鉄道の3つの主体を扱う。政府は企業に対して、始業時刻分散による税優遇や時間帯別課金をした場合、企業は施策による損失を回避するために始業時刻を変更すると考えられる。それにより、通勤者は変更された始業時刻の下で、列車の乗車時刻を変更する。最終的には乗車時刻が分散することで、駅での乗降時間が平準化し、遅延時間が減少することが期待される。本研究では、企業、通勤者の一連の意思決定行動と、鉄道の朝ピーク時の運行挙動をモデル化し、企業の始業時刻分散による列車遅延の改善効果を定量的に把握する。なお、本研究では政府から企業への税優遇等の政策は外生的に与える。

3. 始業時刻選択モデルの構築

企業は利潤最大化を目的に始業時刻選択を行っているとして仮定しモデル化を試みる（ここでは生産額最大化としてモデル化を行う）。具体的には、地域毎の始業時刻分布を離散選択モデルに基づいて記述する。まず、意思決定主体を地域*i*とし、選択肢は7:30から10:30までを30分間隔に離散化した7選択肢とする。各選択肢の効用は、地域*i*が始業時刻*t*を選んだ際の時刻別生産額 Y_{it} とし、コブダグラス型生産関数を用いて表現する。なお、始業時

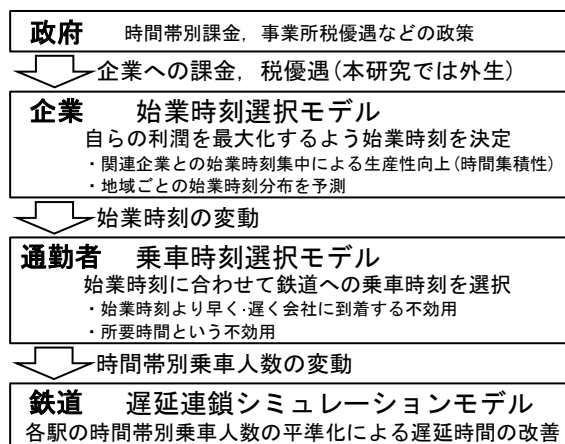


図1 本研究で扱う主体とモデル

表1 始業時刻選択モデルのパラメータ推定結果

変数	パラメータ	t値
A 定数項	5.451	9.32 **
K 資本(百万円)	0.299	9.70 **
L 労働(人)	0.836	20.38 **
I^* 時間集積変数	5.397	11.25 **
サンプル数		225
自由度調整済み尤度比		0.108

**1%有意

$$Y_{it} = AK_i^\alpha L_i^\beta \exp(\theta I_{it}^*) \quad (1)$$

$$I_{it}^* = \sum_{j=1}^J P_{jt} T_{ij} \quad (2)$$

A: 定数項, K: 資本, L: 労働, α , β , θ : パラメータ
刻決定行動には、関連企業と就業時間を重ねるといった戦略的相互関係が地域間にも働くと考え、時間集積変数 I_{it}^* を導入する。ここで、時間集積変数 I_{it}^* は式(2)のように、各地域の始業時刻*t*の選択割合 P_{jt} と当該地域と他地域との業務交通トリップ割合 T_{ij} との積とする。

分析対象地域は、平成22年大都市交通センサスで自宅から定期券で通勤したサンプルが観測された首都圏225市区町村である。また、各地域の生産額や資本、労働等の経済データは平成24年経済センサス活動調査から入手した。提案モデルの推定方法は、はじめに各地域の全産業の売上高総計、労働者数、有形固定資産総額のデータを用いて式(1)を最小二乗法により推定する。次いで、その推定されたパラメータを用いて時間集積変数のパラメータを推定する。

推定結果を表1に示す。すべての変数で符号は整合的でありt値も有意である。本稿では、このパラメータを用いて、特定地域の始業時刻の効用水準を低下(e.g.時間帯別課金)させ、始業時刻決

表2 乗車時刻選択モデルのパラメータ推定結果

変数	パラメータ	t値
T 所要時間(分)	-0.0781	-4.67 **
SDE 早着時間(分)	-0.0332	-16.48 **
SDL 遅着時間(分)	-0.0710	-4.57 **
PL 遅刻確率(%)	-0.0192	-6.09 **
サンプル数		521
自由度調整済み尤度比		0.308

定行動を再度均衡するまで計算させることで、政策後の始業時刻を推計する。

4. 乗車時刻選択モデルの構築

乗車時刻 6:00~9:59 を 15 分毎に区切った 16 選択肢の乗車時刻選択モデルを、東急田園都市線中央林間駅から東京メトロ半蔵門線押上駅を対象に構築する。個人*i*が乗車時刻*n*を推定する際の効用関数は、式(3)のスケジューリングモデルを記述する。

$$V_{in} = \alpha E[T] + \beta E[SDE] + \gamma E[SDL] + \theta P_L \quad (3)$$

ここで、 $E[T]$ は所要時間である。 $E[SDE]$ および $E[SDL]$ は、降車駅への希望到着時刻 (PAT) (勤務先始業時刻からイグレス所要時間を引いた時刻) に対する早着時間と遅着時間を意味する。これらの期待値を、平日 21 日間の運行実績データから求める。遅刻確率 P_L は、時間帯別の全列車の運行実績データの中から希望到着時刻に間に合わない列車数を算出し、その比率を与える。

パラメータ推定は、第 11 回大都市交通センサスから 1 回目の鉄道移動のうち、通勤目的、定期利用、勤務先始業時刻が 6:00~12:00、当該区間で乗車駅と降車駅が完結、アクセス・イグレスの交通機関に自動車とバスを利用していない 521 サンプルを対象とする。推定結果を表 2 に示す。尤度比は 0.3 を超え十分な適合度を持ち、かつすべてのパラメータが有意な結果となった。なお、通常導入される混雑率指標のパラメータは有意とはならなかったため変数から除外している。また、時間帯別の乗車人数の予測は、大都市交通センサスから対象路線の通過客も含めて行う。1 回目の鉄道利用で、自宅から通勤目的、定期券利用の勤務先の始業時刻が 6:00~12:00 である 4,602 サンプルを拡大した 203,032 人を対象に需要予測を行う。

5. 遅延連鎖シミュレーションモデルの構築

本研究室で開発されているピーク時の列車遅延を再現する遅延連鎖シミュレーションモデルは、列車の駅停車時間を推計する乗降時間推計モデルおよび確認・調整時間モデル、駅間の列車の走行時間を推計する走行時間推計モデルで構成される。長津田駅から半蔵門駅までの遅延時間の現況再現性 (12 月 1 日) は、相関係数 0.896 であり、朝ピ

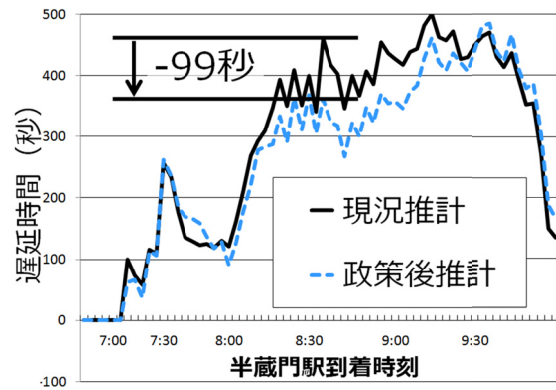


図2 始業時刻分散による遅延時間の改善効果

ーク時の遅延の傾向を概ね再現している。

6. モデルの統合

始業時刻分散時の列車遅延の改善効果を推計するために、これまでに構築したモデルを統合する。3. の始業時刻選択モデルで、政策前後の地域別の始業時刻を推計し、その始業時刻を 4. で述べた 203,032 人に割り当て、乗車時刻を政策前後で推計する。その上で、対象路線の各駅で時間帯ごとに乗車人数を集計し、政策後の乗車人数比率 (政策後の乗車人数を政策前の人数で除した値) を算出し、遅延連鎖シミュレーションモデルに入力されている乗車人数に掛け合わせる。最後に、現況の推計遅延時間と、政策後の乗車比率を掛け合わせて推計した遅延時間を比較する。

7. 企業の始業時刻分散による遅延改善効果

本稿では、都心 3 区を対象に 9:00 に始業する場合には生産 (効用) を課金等によって効用水準を 2.1%低下させる施策を評価する。この施策によって 8:30、9:00 に集中していた始業時刻が、各時間帯に 12%から 14%の割合でほぼ一様分布となった。図 2 に現況 (12 月 1 日) と政策後の遅延時間を推計した結果を示す。8:10 から 9:20 にかけて遅延時間が減少していることが見て取れる。最大で 99 秒遅延時間が減少しており、始業時刻分散によって遅延時間が緩和されることが確認できた。しかし、政策によってオフピーク時に需要がシフトすることで、早朝時の遅延発生が考えられる。それゆえ、政策の際には、時間帯別の需要に合わせたダイヤの検討が必要と考えられる。なお、政策によって遅延連鎖シミュレーションモデルに影響を与える要素が、駅での乗車人数だけであるため、効果が過少に推計される可能性があることを記しておく。

8. おわりに

本研究では、朝ピーク時の遅延に関わる複数の主体の行動をモデル化し、企業の始業時刻分散による列車遅延の改善効果の可能性を示した。