

行動ゲーム理論を用いた法人の始業時刻決定モデルの構築

東京工業大学大学院 学生会員 ○柳沼 秀樹
芝浦工業大学 正会員 岩倉 成志

1. 序論

東京圏における都市鉄道のピーク時通勤混雑は未だに過酷な状況にあり、快適な通勤環境を目指すべく早期に改善する必要がある。これまでに新線整備や輸送力増強策を講じてきたが、財政制約や予算制約により輸送力増強は困難な状況にある。そこで、TDM 施策の検討が行われるようになった。特に時間差料金制度やフレックスタイム制度の促進、事業所税優遇策等が挙げられる。これらは法人に始業時刻の変更を促すことでピーク需要分散を狙った施策である。これら施策の効果を事前にかつ定量的に把握することは政策立案にあたり必要不可欠である。

本研究では、TDM 施策下での法人の始業時刻決定行動に着目したモデル開発を行うことを目的とする。

2. 既存手法と課題点

TDM 施策下での始業時刻着目した既往研究として奥村(1997)や文(1999)などの研究があるが、これらは最適制御問題や均衡問題として理論的な定式化がなされている。しかし、運輸政策審議会等で利用されている既存の需要予測の方法とは大きく異なることや、実際のパラメータ推定結果などが示されておらず、実務との親和性は必ずしも高くないと考えた。本研究の一連の研究である原田(2004)、柳沼(2005)は実務的手法の構築を目指し、ゲーム理論を応用した始業時刻決定モデルを構築してきた。これらモデルの課題点として以下の4点が挙げられる。

企業の始業時刻に影響を与える官庁や公益法人等の非営利法人を仮定していない。

始業時刻は全法人との関係より決定すると仮定しているが、現実的には自社との関係性の強い他社に重点を置き決定している。

全プレイヤーに同一の戦略を与えているが、法人により異なる戦略を持つと考えられる。

Nash 均衡は規範的アプローチであり、記述的手法を検討する必要がある。

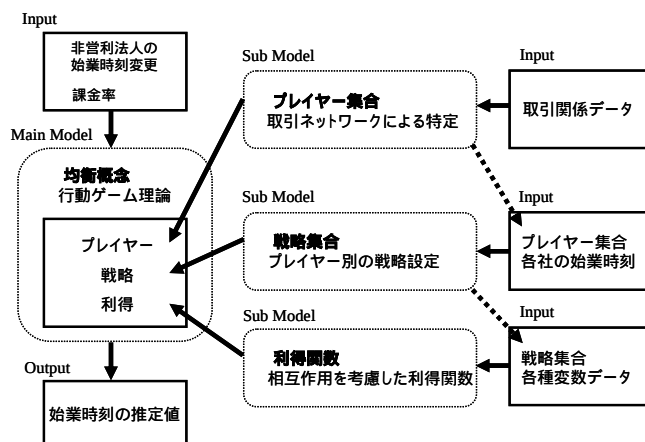


図1. 改良モデルの全体構成

これらはゲームの要素であるプレイヤー、戦略、利得、均衡概念を改良することにより解消できる。これらを踏まえ改良モデルを検討する。

3. 改良モデルの概要

3.1. 改良モデルの全体フレーム

改良モデルの全体フレームを図1に示す。ゲームを行うメインモデルとゲームの要素を特定するサブモデルで構成されている。メインモデルでは、非営利法人の始業時刻変更行動や施策による課金等をInputとし、各法人の始業時刻がOutputとなる。ゲームには行動ゲームを用い、サブモデルでは法人間の関係である受発注関係より構築した社会ネットワークからプレイヤー、戦略、利得を特定する。

3.2. プレイヤーの特定

課題を踏まえ、非営利法人を導入する。また課題を踏まえ、プレイヤーに金銭的關係である受発注関係による社会ネットワークを導入し、自社に発注している法人のみを始業時刻決定に考慮する相手プレイヤーとしてプレイヤー集合を作成した。本研究では、都内に本社を構える上場企業を対象にデータを作成した。企業の財務データ等は「会社四季報」から、取引関係は「日経会社情報」の取引先欄の企業を用いて作成した。分析より法人は平均的に3法人程度から受注を受けており、考慮するプレイヤー数としては現実的な値となった。

キーワード TDM 始業時刻決定 社会ネットワーク 行動ゲーム

連絡先 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 M1-11 Tel03-5734-2577 Fax03-5734-3578

3.3. 戦略の特定

課題 を踏まえ、法人別に戦略の特定方法の検討を行った。非営利法人は、法人へ社会的・金銭的に影響力が強いことを考慮し、外生的に戦略である始業時刻を変化させて営利法人に影響を与える存在とする。始業時刻は、発注者との関係を重視し、それらの始業時刻に合うように決定していると考え、そこで、自社と特定したプレイヤー集合の発注者との始業時刻について解析を行った。その結果、発注者の始業時刻と同じか、それより前に設定していることがわかり、それらは 15 分間隔で分布していた。以上より戦略をプレイヤー集合の各プレイヤーの始業時刻が含まれるように 15 分間隔で設定した。

3.4. 利得の特定

利得には施策により影響を受ける利潤を用いることとする。本研究では、式 1 にあるように企業 i の始業時刻 t における利潤 π_{it} を生産額 Y_{it} と費用 C_{it} の差分とする。生産額は式 2 に示す生産関数を、費用は式 3 に示す費用関数を構築した。前述のとおり他社との相互関係を考慮し、時間集積の経済が利潤に影響を与える 2 つの指標を導入した式構造にした。DI は直接的な相互作用を表現する変数で、ある他社 j との始業時刻の乖離割合 m_{ij} と売上高のウェイト w_{ij} の積を足し合わせたもので式 4 に示す。SI は法人全体との相互作用を表現する変数で、産業ベースでの値を用いる。 R_{jt} は産業 j が時刻 t までに始業している割合と産業連関表における産業 ij 間の投入割合 P_{ij} との積を足し合わせたもので式 5 に示す。2 つの変数を導入することで精度良く推定できると考える。

$$\pi_{it} = Y_{it} - C_{it} \quad (1)$$

$$Y_{it} = A \cdot K_i^\alpha L_i^\beta + \exp(\omega FT_i + \theta DI_{it}^{in} + \zeta DI_{it}^{out} + \tau SI_{it}) \quad (2)$$

$$C_{it} = B \cdot Y_{it}^\gamma \quad (3)$$

$$DI_{it} = \sum_{j=1}^J m_{ij} w_{ij} \quad (4)$$

$$SI_{it} = \sum_{j=1}^J R_{jt} P_{ij} \quad (5)$$

パラメータ $\alpha, \beta, \omega, \theta, \zeta, \tau, \gamma$ と定数 A, B を推定した結果、相関係数は 0.9 以上と概ね良好ではあったが、パラメータが有意とならず課題を残す結果となった。

3.5. 行動ゲーム理論の導入

課題 を踏まえ、行動ゲーム理論を導入する。行動ゲームは Camerer(1999)や Makelvey(1995)らにより

研究が進められた計量的ゲームモデルであり、本研究では QRE (Quantal Response Equilibrium)を用いる。プレイヤー i が戦略 j を選択した時の利得 U_j^i は、他プレイヤーの選択確率 q_j^{-i} に依存した期待利得となっている(式 6)。これを戦略ごとに特定し、各戦略の選択確率を式 7 に示す Logit 型の式により算出する。

$$U_j^i = \sum_{j=1}^J q_j^{-i} \pi_{ij}^i \quad (6)$$

$$P_j^i = \frac{\exp(\lambda U_j^i)}{\sum_{k=1}^K \exp(\lambda U_k^i)} \quad (7)$$

ここで λ は利得の分散を表すパラメータで、ゼロの場合はランダム戦略となり、無限大に近づくにつれ Nash 均衡に収束する。推定の結果、最小値 0.012、平均値 3.37、最大値 194.11 を得た。以上より、法人の異質性を表現できる計量的な手法であることを確認することができた。

4. 改良モデルによるシミュレーション

改良モデルを用いて 30 社を対象に 2 つのシナリオでシミュレーションを行った。図 2 は、すべての非営利法人の始業時刻を 15 分早くしたケース 1 と、時間差課金制度を実施したケース 2 を示したものである。ケース 1 では変化はさほど見られなかった。ケース 2 は時間別の課金によりピークが分散してゆくことが確認できる。本モデルにより各法人の行動を定量的に把握することができた。

5. 結論

本研究で構築したモデルにより各種シナリオで変更行動の可能性を示すことができた。しかし利得関数への混雑変数導入やパラメータが有意でないといった点や、企業数を増やしたシミュレーション等の課題が残されている。今後は、データの充実に図り、モデル構造の検討およびパラメータ推定を行う必要があると考える。

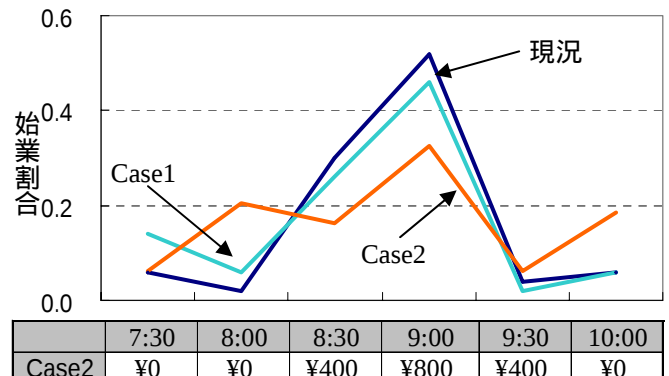


図2. シミュレーション結果