

ゲーム理論を用いた法人の始業時刻決定モデルの構築

建設工学専攻
土木計画研究

505075 やぎぬまひでき
柳沼秀樹
指導教員 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国策を講じるものの、国の目標値である混雑率150%に達していない。従来の施策は、新線開発や複々線化、輸送力増強等の供給側の施策が中心であった。しかし、財源制約や空間制約の面から投資は非常に厳しくなっている。そこで、需要側の施策（以下:TDM）の検討が行われるようになった。都市鉄道を対象とした場合ではフレックスタイム制度の促進、事業所税優遇策、時間差課金制度等があげられる。これは法人の始業時刻の変更を促すことでピーク需要を分散させる方法である。

これら TDM の効果を事前に、かつ定量的に把握することは政策立案者にとって必要不可欠である。特に法人の始業時刻が要となるが、実務的予測手法は存在しない。そこで、本研究では法人の始業時刻決定モデルの開発を目的とする。

2. 既往モデルの問題点

TDM 状況下での始業時刻に着目した既往研究としては、奥村(1997)や文(1999)の研究が存在する。しかし最適制御問題や均衡問題をとって定式化しているため、理論的な研究に留まっていることや、従来の需要予測手法と大きく異なるため実務的利用が困難と言える。

そこで当研究室では実務的手法の構築を目指し、過年度より法人の始業時刻決定行動に着目した定量的モデルの開発を行ってきた。原田(2004)らは始業時刻決定には他社との相互関係があることを確認し、ゲーム理論を用いた2産業間での始業時刻決定モデルを構築した。柳沼(2005)は原田らのモデルを複数企業間における始業時刻決定モデルをN人ゲームとして再構築した。

ここでゲーム理論とは意志決定主体であるプレイヤー、プレイヤーの選択肢である戦略、戦略より得られる利益を利得とした3つの要素を特定し、行動規範である均衡概念に基づき意志決定を分析する手法である。

現状でのモデルには4つの課題が挙げられる。

- ① 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。
- ② 始業時刻の決定には、全企業ではなく特定の法人との関係で決定している可能性がある。
- ③ 全プレイヤーに同じ戦略を与えているが、実際は法人により異なる戦略を持つと考えられる。
- ④ Nash 均衡によるアプローチでは現実と一致するような解を得ることが保証されない。

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

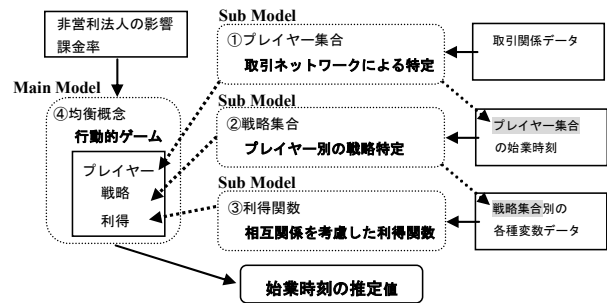


図1. 改良モデルの全体像

3. 改良モデルの詳細

3.1. 改良モデルの全体フレーム

改良モデルの全体的フレームを図1に示す。構造としては、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に分類される。メインモデルでは、非営利法人のTDM政策による課金額等をInputとしてゲームを行い始業時刻がOutputとなる。ゲームの均衡概念としては行動論的ゲームを用いる。サブモデルではネットワーク分析から得られる受発注関係をもとにプレイヤー、戦略、利得を特定する。

3.2. 取引ネットワークによるプレイヤー特定

課題①を踏まえ、非営利法人を導入する。ここでは自身が関係する法人等への影響力を考慮し、外生的に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。また課題②を踏まえ、プレイヤーに取引ネットワークを導入し、自社に発注している金銭の関係のある法人のみを相手プレイヤーとする。

取引ネットワークの作成にあたり、「日経会社情報」の取引先欄の企業を用いて、都内に本社を構える上場企業を対象とした。受注者の大半は約3法人から受注しており、考慮するプレイヤー数としては現実的である。

3.3. プレイヤー別の戦略特定

課題③を踏まえ、法人別に戦略の特定方法を検討する。始業時刻は発注者の始業時刻が関係していると考えられる。そこで発注者の始業時刻別に受注者の始業時刻分布を解析したところ、受注者は発注者の始業時刻を中心に、その前後15分間隔で始業時刻が分布していた。以上から戦略を現在の始業時刻から発注者らの始業時刻が含まれるように15分間隔で設定することにする。

3.4. 相互関係を考慮した利得関数

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。企業*i*の時刻*t*における利潤 π は式(1)にあるように生産額*Y*から費用*C*を差し引いたものとする。生産額は式(2)のコブダグラス型生産関数を用いる。費用は生産関数との双対性を用いて式(3)のような費用関数を用いる。前述のとおり他社との相互関係が存在しており、時間集

積が働いていると考える。そこでそれを考慮した2つの変数を生産関数に導入する。1つ目は受注者との直接的相互関係を表現する変数 DI である。各受注者 j との始業時刻の乖離率 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)のように設定する。2つ目は法人全体との相互関係を表現する変数 SI であり、 DI とは異なり産業ベースでの集計値を用いる。 R_{jt} は産業 i に属する企業が t に始業するまでに他の産業 j の企業が始業している割合を産業連関表の投入額 P_{ij} との積を足し合わせたものである。

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

$$Y_{it} = A \cdot K_i^\alpha L_i^\beta + \exp(\theta(DI_i + II_i)) \quad \dots(2)$$

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

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

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

K : 資本, L : 労働

$\alpha, \beta, \theta, \delta$: パラメータ, A, B : 定数項

パラメータ推定には、損益計算書と貸借対照表より売上高、資本、労働、費用を用い、始業時刻やフレックスタイム制度の有無はアンケート等により作成した。推定の結果、相関係数は0.9以上と概ね良好な結果であった。また相互関係のパラメータ符号が正であったが、統計的には有意にならなかった。

3. 5. 行動論的ゲーム理論の導入

ゲーム理論は、合理的プレイヤーが与えられた条件の下で採択すべき行動を分析する手法である。つまり規範的行動を分析する手法であるため現実の行動結果と一致しないことがある。本研究では現状の状態が表現できる行動論的ゲーム理論を導入する。

行動論的ゲーム理論は近年になって研究が進められている分野であり、推定モデルやその適用例は少ない。先駆的なモデルとしては MaKelvey(1995)により構築された Quantal Response Equilibria(QRE), この QRE をベースに強化学習と信念学習を導入した Camerer(1999)の Experience Weighted Attraction Learning (EWA)が挙げられる。また喜多(2003)らはゲームの利得逆推定モデルを構築している。これらモデルは Logit 型の離散選択モデルをベースに利得を行動結果に調整するような構造となっている。本研究では適用例が豊富な QRE を用いる。

プレイヤー i の効用は式(6)のようになる。これは式(1)で得られた戦略 i の利得と、相手の選択結果を用いた期待値となっている。

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

$$p_{ij}^i = \frac{\exp(\lambda U_{ij}^i)}{\sum_{k=1}^K \exp(\lambda U_{ik}^i)} \quad \dots(7)$$

これを戦略ごとに求めて式(7)の選択確率式に代入することで均衡解の発生を算出できる。

λ は利得を調整するパラメータで、もし $\lambda = 0$ の場合はランダム選択となり、 $\lambda = \infty$ の場合は Nash 均衡となる。推定はプレイヤー別に式(7)を用いて尤度関数を作成し、最大化することで行った。その結果、最小値 0.012, 平均値 3.37, 最大値 194.11 を得た。この値のバラツキは考慮する受注者の数に関係しており、 λ が大きいほど受注者の数が少なかった。このことから各プレイヤーの異質性の表現が可能である。推定した λ と式(7)より予測したしものを図2に示す。一部は遅く始業時刻が推定されているが、概ね現状値と推定値が一致した。以上から QRE は比較的簡便なモデル構造で、精度よく推定が可能であることが確認できた

4. 改良モデルによる政策シミュレーション

今回改良したモデルを用いて政策シミュレーションを行う。今回は非営利法人の始業時刻を現状の始業時刻から15分間隔で変化させた。図3は結果の一部を示したものである。15分早くした場合と30分遅くした場合ではピーク始業の約5%が改善された。15分遅くした場合はさほどの変化は見られなかった。以上より非営利法人がピークから大きく時刻を変化させた場合でも、受注者が利潤の低下を抑えるために追従することが確認された。

5. 結論

本研究で構築したモデルによって始業時刻変更行動が起こる可能性を示せた。今後は始業時刻や取引等のデータを充実させ、より詳細なシミュレーションを重ねてゆくことで知見を深める必要がある。

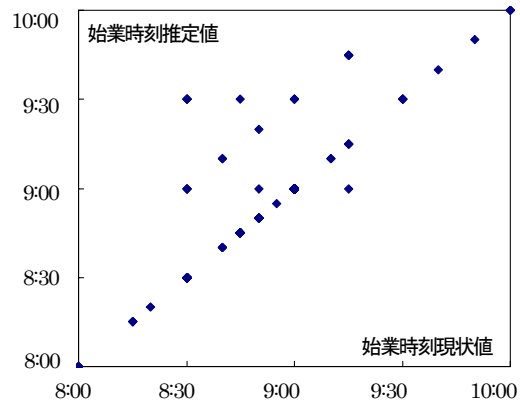


図2. 改良モデルでの現況再現

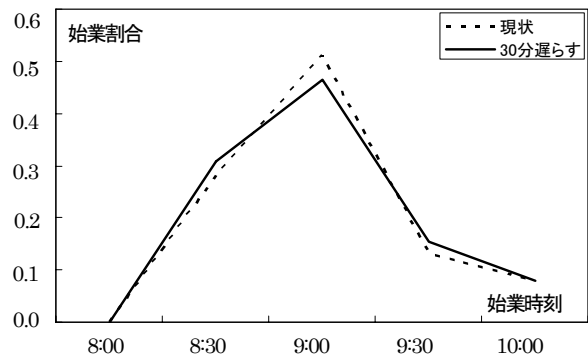


図3. 政策シミュレーション結果