

## 1. はじめに

首都圏を中心とした都市鉄道において、ピーク時の混雑は劣悪な環境にあり長年の政策課題となっている。このような混雑緩和策として、輸送力の増強や新規路線の整備が望まれるが、供給側の財政制約などから困難と思われる。その中で注目を浴びているのが、企業の始業時刻分散による交通需要平準化を狙ったフレックスタイム制、時差出勤の促進やピークロードプライシング（時間差料金制度）等の交通需要マネジメント策（TDM）である。

鍋山・原田(2003)は企業の始業時刻決定要因を分析し、始業時刻決定モデルの構築を行った。しかし3人プレイヤー以上の分析が行えない等の問題点がある。そこで本研究では、モデルの精緻化と拡張を行うことを目的とする。

## 2. 既存モデルの概要と問題点

鍋山・原田は企業の始業時刻決定要因をアンケートにより「他社や顧客等の外部に合わせて始業時刻を決定している」ことを明らかにした。このことは他社と始業時刻を合わせることで、自社の利益を高めることができる「時間集積性の経済」が働いていることを示唆している。このことから企業は自社の利益が最大となる始業時刻を他社との関係より決定していると考えられる。始業時刻決定モデルは自社の利益を生産関数で推定し、それを用いて他社との関係をゲーム理論で推定する2つのプロセスから構築されている。

モデルの問題点として以下が考えられる。

- (1) 企業は利益を最大にすると仮定すれば、生産関数だけではなく利潤関数で評価する必要がある。
- (2) 既存モデルではプレイヤーは2人までとなっている。現実には多主体を考慮していると思われるため、N人ゲームで解く必要がある。
- (3) ゲームにおいて複数均衡解が生じた場合に期待値をとって均衡解を求めているが、その場合均

衡解からずれてしまう可能性がある。

- (4) 強い合理性を仮定する Nash 均衡解を用いることは妥当か。均衡概念の検討が必要ではないか。
- (5) 産業をプレイヤーとし、それらの始業時刻分布を戦略としているが、実際は企業単位をプレイヤーとし、個別に始業時刻を戦略として与える必要がある。

以上の5つが大きな問題点として挙げられる。これらの問題は企業の利潤とゲームの2つの問題に集約される。そのため問題点を踏まえながらモデルの精緻化と拡張を行う。

## 3. 利潤モデルの構築

利潤を求めるモデルを構築する。利潤は生産額と費用の差分となる。本研究では  $Q$  を生産関数で、 $C$  を費用関数により構築し利潤を算出する。(式)

$$\pi = Q - C \quad \dots$$

$\pi$ : 利潤,  $Q$ : 生産額,  $C$ : 費用

生産関数は既存モデルにならぬ時間集積変数を考慮したモデルを用いる。関数形はコブ・ダグラス型を仮定した。ここで  $i$  は任意の企業を表す。(式)

$$Q_{it} = K_i^\alpha (p_i L_i)^\beta \exp(\gamma L_{it}^* + \mu FT_{iDummy})$$

$$L_{it}^* = \sum_j R_{jt} P_{ij} \quad \dots$$

$Q_{it}$ : 始業時刻  $t$  における生産額,  $K$ : 資本,  $L$ : 労働

$p$ : 平均給与,  $L_{it}^*$ : 始業時刻  $t$  における時間集積性変数

$FT_i$ : フレックスタイム制ダミー,  $P_{ij}$ : 産業別取引割合

$R_{jt}$ : 始業時刻  $t$  における他社の累積始業者数

$\alpha, \beta, \gamma, \mu$ : パラメータ

費用関数は費用最小化行動を仮定することにより、生産関数との双対性を利用して同一の関数形で導出できる。また生産関数が貨幣単位で推定されていることを考慮すると以下のようなになる。(式)

$$C_{it} = Q_{it}^\delta \quad \dots$$

$\delta$ : パラメータ

パラメータ推定は東京都本社の上場企業 1703 社を 18 産業に分類して行った．使用データは会社四季報をベースに作成し推定を行った．結果は良好で決定係数は生産関数，費用関数でほぼ 0.9 以上であった．FT ダミーと時間集積性変数の  $t$  値があまり優位でないことが問題である．符号の正負は生産性への影響を表し，産業の特性を見ることができる．(表 - 1)

#### 4．ゲーム理論の拡張

##### 4 - 1．N 人ゲームへの拡張

ゲームを N 人へ拡張するためには Nash 均衡解の計算アルゴリズムを検討する必要がある．今回の推定にあたっては線形相補性を用いた Lemke-Howson アルゴリズムを拡張したものを用いた．後に記すが，EWA モデルも N 人へ拡張を行った．

##### 4 - 2．複数均衡の選択

Nash 均衡を算出するにあたって複数の最適解が求まることがある．この時にどの解を選択するかという均衡選択問題が生じる．この解消策は現在のゲーム理論の研究において重要課題とされており，明確な理論は確立されていない．そのため本研究では広く用いられるパレート優位による均衡選択を行う．パレート優位とは各均衡解から得られる利潤が最大となる解を用いるものである．この概念は直感的に理解がしやすい．

##### 4 - 3 均衡概念の検討

Nash 均衡は高い理論性を持つ反面，強い仮定が存在する．その 1 つが合理性の要求である．これを緩和した均衡概念として，進化ゲームで用いられている ESS や，EWA モデルの解などが挙げられる．本研究では Nash 均衡解と EWA モデルによる 2 つの分析を用いて比較を行う．

EWA モデルは人間の戦略を選ぶ思考過程をモデル化し均衡解を導くものである． $t$  期において，プレイヤー  $i$  の戦略  $j$  による効用  $A_i^j$  は前回の学習  $N(t-1)$  と効用をパラメータ  $\phi$  により割引いたものに，自分の前回の選択結果  $I(s_i^j, s_{-i}(t))$  と相手の選択  $\pi_i(s_i^j, s_{-i}(t))$  によって経験づけるものとする(式 )．その効用を用いて次の選択時 ( $t+1$ ) に，ロジット型選択確率式によって各戦略の選択確率  $P_i^j$  を算出する(式 )． $\phi, \delta, \lambda$  はパラメータである．このような過程を数回繰り返すことにより，経験による重みづけを行った個人ごとの解を求めることができる．

表 - 1 生産関数パラメータ符号

No	産業	FT	L*	No	産業	FT	L*
1	サービス業	-	+	10	食料品	+	-
2	情報・通信業	-	-	11	化学	+	+
3	運送業	+	-	12	金属系	-	+
4	卸売業	+	-	13	非金属系	-	+
5	不動産業	-	-	14	機械系	-	+
6	金融系	+	+	15	電気機器	+	+
7	建設業	+	-	16	その他製品	+	+
8	鉱業			17	電気・ガス業		
9	小売業	-	-	18	水産・農林業		

\*No 8 , 17 , 18 はサンプル数が少ないため推定不可

表 - 2 ゲームの均衡解

Nash 均衡解				EWA 解			
	Player1	Player2	Player3		Player1	Player2	Player3
戦略1	7:00	7:00	7:00	戦略1	7:00	7:00	7:00
戦略2	8:00	8:00	8:00	戦略2	8:00	8:00	8:00
戦略3	9:00	9:00	9:00	戦略3	9:00	9:00	9:00
戦略4	10:00	10:00	10:00	戦略4	10:00	10:00	10:00

$$A_i^j(t) = \phi \cdot N(t-1) \cdot A_i^j(t-1) + \pi_i(s_i^j, s_{-i}(t)) \cdot (\delta + (1-\delta)) \cdot I(s_i^j, s_i(t)) / N(t)$$

where

$$I(s_i^j, s_i(t)) = \begin{cases} 1 & \text{if } s_i^j = s_i(t) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \dots$$

$$P_i^j(t+1) = \frac{\exp(\lambda \cdot A_i^j(t))}{\sum_{k=1}^m \exp(\lambda \cdot A_i^k(t))} \dots$$

#### 5．シミュレーション

構築したモデルを用いて，企業の始業時刻選択を検証する．分析には異なる産業に属し，現状で同じ 8:30 に始業している 3 社を対象に行った．また企業 1，企業 2 は時間集積性があり，企業 3 はない．

ゲームは 3 人プレイヤーゲームとなり，同一の戦略を持つと仮定する．利得を利潤モデルより戦略別に算出した．それらを用いて Nash 均衡解と EWA 解を求めた．またピーク時 (8:00~9:00) に始業する企業の利潤に対して 10% の課税を行った．

表 - 2 の結果を見ると，両分析で始業時刻の相違が見られる．Nash 均衡では企業 1 と企業 2 の集積性が表現されている．EWA 解では企業 3 も追従している．均衡概念の違いによるものと思われるが，相違を深く検証する必要がある．

#### 6．まとめ

本研究では始業時刻決定モデルの N 人ゲームへの拡張を行うことができた．今後はさらに多数の主体での分析と，進化ゲーム等の均衡概念への拡張を行いたい．