

鉄道時差出勤の導入インセンティブに関する分析¹

INCENTIVE OF STAGGERED WORK HOURS IN RAILWAY COMMUTING

永野光三²・奥村 誠³・小林潔司⁴

Mitsuzo NAGANO, Makoto OKUMURA and Kiyoshi KOBAYASHI

1. はじめに

時差出勤施策が十分に浸透しない理由として、関連企業との労働時間帯のずれにより企業の業務活動効率が低下するという問題が挙げられる。本研究では、鉄道により通勤が行われている仮想都市を対象に、企業の業務活動への影響を考慮したモデルを構築し、企業の時差出勤施策導入インセンティブを分析する。さらに、社会的厚生を最大化する時差出勤パターンを実現するための施策を明らかにする。

2. 時差出勤に関する既存の研究

わが国では1990年代に入り、時差出勤をはじめとするTDM施策が注目されている。近年、いくつかの都市で社会実験が行われ¹⁾、時差出勤は渋滞緩和に大きな効果があるが、企業が始業時刻の変更に同意しないという問題が報告されている。

都市の業務活動には、互いに業務時間の一致性を高めようとする「時間的集積の経済性」が存在する。Hendersonは、フレックスタイム制度下での従業者の通勤時刻選択行動を分析し、時間的集積の経済性の高い職種の従業者はピーク時に通勤し、そうでない従業者はその前後に分散することを示した²⁾。文らは、固定始業時刻制度の企業とフレックス制度の企業の利潤を比較し、企業の制度導入インセンティブの分析を行い、ロックイン効果のためにフレックス制度の導入が妨げられることを示した³⁾。

これらの研究は自動車交通を対象にしており、大

都市圏の主たる通勤手段である鉄道システムには適用できない。筆者らは通勤鉄道の交通需要管理政策の効果を分析するための均衡論的モデルを開発した⁴⁾。さらに、このモデルを複数始業時刻の状況に拡張し、時差出勤による通勤者の厚生の変化を分析している⁵⁾。本研究はこのモデルをサブモデルとして用い、時間的集積の効果を考慮した生産関数と組み合わせた分析モデルを構築する。

3. 分析モデルの定式化

(1) モデル化の前提

N 人の通勤者が居住するベッドタウンと勤務地である都心からなる1つの仮想都市を考える。通勤輸送サービスは鉄道企業1社により独占的に供給され、運賃は平均費用価格に設定されている。行政は、通勤者の総消費者余剰を最大化するような運行スケジュールを計算し、鉄道企業にそれを実行させると仮定する。

企業はCBDにおいて業務活動を行う。この時資本レントと賃金率を与件として費用最小化行動をとる。労働時間の長さを一定値 H とし企業内での時差は考えない。時差出勤施策の導入前の始業時刻は一時点 S_0 であり、施策の導入後には従前の始業時刻 S_0 と、 τ だけ早い始業時刻 $S_a \equiv S_0 - \tau$ のどちらかを選択すると仮定する。

通勤者の遅刻や早退は許されておらず、鉄道所要時間は利用時刻にかかわらず一定の ω (分)であるとする。技術の同索性から、始業時刻が同じ企業は同一の賃金水準 w_k を提示する。通勤者は、始業時刻と賃金水準をもとに、どちらのタイプの企業で従業するかを選択する。

¹ Key Words: TDM・公共交通運用・交通行動分析

² フェロー会員 中央復建コンサルタンツ(〒532-0004 大阪市淀川区西宮原1丁目8-29-35) Tel:06-393-1135, Fax:-1145

³ 正会員 工博 広島大学助教授 工学部建設系(〒739-8527 東広島市鏡山1-4-1) Tel & Fax:0824-24-7827

⁴ 正会員 工博 京都大学教授 大学院工学研究科(〒606-8501 京都市左京区吉田本町) Tel & Fax:075-753-5071

(2) 通勤者の効用と鉄道企業の費用

始業時刻 S_k の企業に勤務する通勤者を記号 $k = a, b$ で表す。出社時刻が t_g 、退社時刻が t_r の通勤者の自宅出発時刻は $t_g - \omega$ 、帰宅時刻は $t_r + \omega$ となるが、その効用関数を次式のように定義する。

$$PW_k(w_k, t_g, t_r) = w_k - R + U_k(t_g) + V_k(t_r) \quad (1)$$

$$U_k(t_g) = -(s(t_g))^\eta - c\{S_b - (t_g - \omega)\} \quad (2)$$

$$V_k(t_r) = -(s(t_r))^\eta - c\{(t_r + \omega) - (S_b + H)\} \quad (3)$$

R は一日あたりの鉄道運賃であり乗車時刻によらず一定である。 $U_k(t_g)$ は出勤時の、 $V_k(t_r)$ は帰宅時の部分効用を表す。 $s(t_g)$ は時刻 t_g に都心に到着する列車の、 $s(t_r)$ は時刻 t_r に都心を出発する列車の混雑度で、正数であり $s = 1$ は定員輸送を意味する。 $c > 0$ (円/分) は自宅出発時刻の早さに関する、 $e > 0$ (円/分) は帰宅時刻の遅さに関するスケジュール費用の勾配である。

鉄道企業の運行費用は、時点ごとの輸送力 $\alpha(t)$ の増加関数である瞬間的な費用を積み上げたものであると仮定する。出勤時間帯の輸送費用は次のようになる。

$$TC_g = \int_0^{S_b} \zeta_0 (\alpha(t))^\xi dt, \quad (4)$$

ここで、 $\xi > 1$ は費用関数の弾力値であり、 ζ_0 は正の定数である。同様にして帰宅時間帯の輸送費用 TC_r も計算できる。平均価格費用形成がなされていると仮定すれば、一人当たりの往復運賃は、

$$R = \frac{TC_g + TC_r}{N} \quad (5)$$

となる。

(3) 行政の輸送計画

行政は通勤者の総消費者余剰が最大になるような運行スケジュールを求め、それによって鉄道企業が輸送力の供給を行う。効用の均衡条件、鉄道の費用関数が出勤時と帰宅時の部分に分離できることに注意すれば、このような運行スケジュールを求める問題は、出勤時と帰宅時の2つの問題に分割できる。分割された問題は、著者らの先行研究における複数始業時刻下の TSM 計画問題と一致している⁵⁾。詳細は参考文献にゆずるが、始業時刻を同じくする通勤者 N_k (人) ごとに、次のような最適制御問題を解き、全通勤者が一斉に通勤する場合と比較して、バ

タンの安定性をチェックすればよい。

$$\max_{\alpha(t), s(t), T_k} \left\{ \int_0^{S_b} [-\zeta_0 \alpha(t)^\xi + s(t) \alpha(t) \{-s(t)^\eta - c(S_k - t) + e(S_K - S_k)\}] dt \right\} \quad (6)$$

$$s.t. \quad U_k(t) = \bar{U}_k, \quad t \in [T_k, S_k] \quad (7)$$

$$U_k(t) < \bar{U}_k, \quad t \in [0, T_k] \quad (8)$$

$$\dot{M}(t) = s(t) \alpha(t) \quad (9)$$

$$M(0) = 0 \quad (10)$$

$$M(S_k) \geq \sum_{i=1}^k N_i \quad (k = a, b) \quad (11)$$

$$M(T_k) \leq \sum_{i=1}^{k-1} N_i \quad (k = a, b) \quad (12)$$

$$0 \leq s(t) \leq \bar{s} \quad (13)$$

なお、 $M(t)$ は時刻 t までに都心に到着する累積通勤者数、 T_k は k グループの通勤者の最早到着時刻である。このモデルを用いれば、通勤者数 N_a, N_b に対する出勤時・帰宅時の均衡部分効用 \bar{U}_k, \bar{V}_k および輸送費用 TC_g, TC_r を求めることができる。

(4) 企業の生産関数と賃金水準

始業時刻が S_k の企業をまとめて1つの集計的企业と考え、Henderson²⁾ にならって各時刻における都市内の従業者数を取り入れた瞬間的な生産関数を用いて時間的集積の経済性を表現する。

$$AK_k^{1-\beta} N_k^\beta N(t)^\alpha \quad (14)$$

ここで K_k は資本、 N_k は始業時刻が S_k である通勤者数、 $N(t)$ はその瞬間に都市で業務を行っている従業者数、 $\alpha > 0$ は時間的集積の経済性パラメータ、 $0 < \beta < 1$ は労働の限界生産性パラメータ、 $A > 0$ は技術水準パラメータである。一日の生産量 $f_k(N_k)$ は、この式を始業時刻から終業時刻まで積分したものととなる。

$$f_k(N_k) = AK_k^{1-\beta} N_k^\beta \int_{S_k}^{S_k+H} N(t)^\alpha dt \quad (15)$$

生産物の価格は1に基準化されているものとする。企業は資本レント ν と賃金率 w_k を与件として費用を最小化しよう資本量 K_k と従業者数 N_k を決定する。一階の最適性条件は、

$$(1 - \beta) \frac{f_k}{K_k} - \nu = 0, \quad \beta \frac{f_k}{N_k} - w_k = 0 \quad (16)$$

これらを(15)に代入し、 w_k について解けば、

$$w_k = \beta A^{\frac{1}{\beta}} \left(\frac{(1-\beta)}{\nu} \right)^{\frac{1-\beta}{\beta}} \left(\int_{S_k}^{S_k+H} N(t)^{\alpha} dt \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (17)$$

となる。いま、都市内で完全雇用が達成され、 $N_a = rN$ 、 $N_b = (1-r)N$ に設定された場合を考える。2つのタイプの企業の賃金水準は以下のように表される。

$$w_a = \beta A^{\frac{1}{\beta}} \left(\frac{(1-\beta)}{\nu} \right)^{\frac{1-\beta}{\beta}} N^{\frac{\alpha}{\beta}} \{H - (1-r^{\alpha})\tau\}^{\frac{1}{\beta}} \quad (18)$$

$$w_b = \beta A^{\frac{1}{\beta}} \left(\frac{(1-\beta)}{\nu} \right)^{\frac{1-\beta}{\beta}} N^{\frac{\alpha}{\beta}} \{H - (1 - (1-r)^{\alpha})\tau\}^{\frac{1}{\beta}} \quad (19)$$

(5) 長期的均衡と社会的余剰

各タイプの企業の雇用者1人当たりの厚生水準は式(3)である。通勤者が厚生水準の高い企業を選択するから、企業は雇用の確保のために PW_k を増加させる施策に対してインセンティブを持つ。長期的な均衡条件は以下ようになる。

$$\begin{aligned} r &= r^*, \text{ such that } PW_a(r^*) = PW_b(r^*) \\ r &= 0, \text{ if } PW_a(0) < PW_b(0) \\ r &= 1, \text{ if } PW_a(1) > PW_b(1) \end{aligned} \quad (20)$$

行政が最大化すべき社会的余剰は消費者余剰と資本レントの和で表される。

$$SW(r) = rNPW_a(r) + (1-r)NPW_b(r) + (1-\beta)(f_a + f_b) \quad (21)$$

4. 時差出勤導入インセンティブの分析

(1) 数値計算の方法と結果

過去の実証研究事例⁶⁾を参考に、 $c = 20$ (円/分)、 $e = 15$ (円/分)、 $\eta = 5.5$ 、 $\xi = 2.9$ 、 $\zeta_0 = 0.0028$ (円/分)と設定する。また都市人口を $N = 50000$ (人)、労働時間を $H = 480$ (分)、始業時刻の時差を $S_b - S_a = \tau = 30$ (分)とする。パラメータ A は時差がない場合の賃金が $w_b = 20000$ (円)となるように設定する。

図-1は①($\alpha = 0.2, \beta = 0.7$)、②($\alpha = 0.7, \beta = 0.4$)、③($\alpha = 0.2, \beta = 0.4$)の3つのケースにおける2つのグループの賃金水準および厚生水準を、

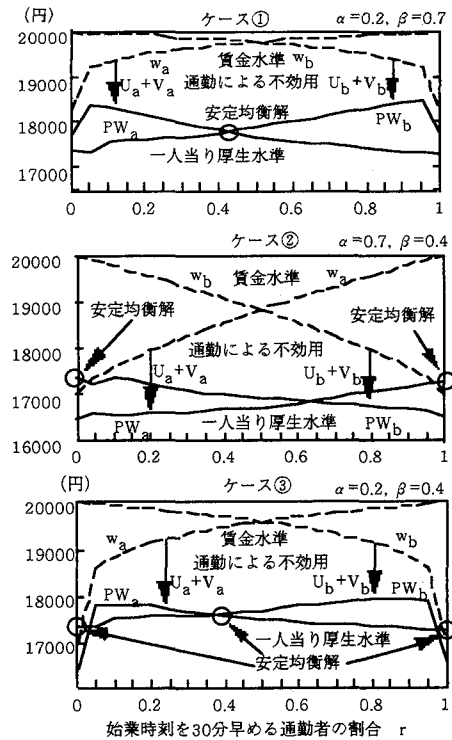


図-1 厚生水準のグラフと安定均衡解のパターン

r を0.05刻みで変えながら計算しプロットしたものである。

a) 安定均衡解が1つ存在する場合 ①のケースでは PW_a と PW_b は $r^* = 0.42$ の1ヶ所で交わり、この点のみが均衡条件を満足する。 $r < r^*$ の場合、 $PW_a > PW_b$ であり、企業は始業時刻を早めるインセンティブを持ち、自主的に時差出勤の導入が進む。

b) 2つの一斉始業のみが安定均衡解になる場合 ②のケースでは一斉始業を表す $r = 0$ 、 $r = 1$ のみが安定均衡解になる。この場合、企業が時差出勤に参加するインセンティブを持たないが、社会的余剰 $SW(r)$ も $r = 0$ で最大値を取るため、社会的にみて時差出勤を行う意義はない。

c) 安定均衡解が3つ存在する場合 ③のケースでは厚生水準のグラフが3ヶ所で交差する。この時中央の $r = 0.39$ と両端の $r = 0$ 、 $r = 1$ が安定均衡解、 $r = 0.03$ 、 $r = 0.97$ は不安定均衡解である。このケースでは、 $r = 0.39$ のときの均衡厚生水準が $r = 0$ の

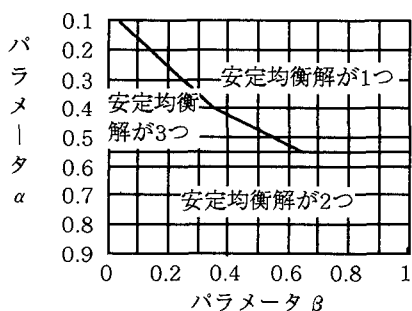


図-2 パラメータと実現するパターン

一斉始業時よりも大きい。つまり、どの企業も「時差出勤がある程度進んだ方が良い」と思っている。しかし、 r が小さく不安定均衡解 ($r = 0.03$) を越えるまでは、個々の企業は始業時刻を S_0 のままにした方が有利であるため、一斉始業の状況 ($r = 0$) に移行し低い厚生水準しか達成できないという「ロックイン」現象が見られる。

この場合に安定均衡解 $r = 0.39$ を実現するためには、 r の値が不安定均衡解 $r = 0.03$ を越えるまで、行政が自ら始業時刻を早める、あるいは始業時刻の変更に対し補助金を与えるなどの政策が必要となる。なおこの政策は、 r が大きくなれば不必要となる点で短期的な施策と解釈できる。

(2) パラメータ値による均衡解の構成の変化

パラメータ α と β の値を離散的に変化させて、安定均衡解の個数を数値計算により分析した結果を図-2に示す。時差出勤施策が実現できる可能性があるのは、安定均衡解の個数が1または3のケースであり、時間的集積の経済性 (α) が小さい場合に限られることがわかる。

(3) 最適な時差出勤パターンの実現方策

企業の行動により実現する r の均衡比率は、社会的余剰 $SW(r)$ を最大化する値に等しいとは限らない。図-3は、①のケース ($\alpha = 0.2, \beta = 0.7$) における PW_a, PW_b と社会的余剰 $SW(r)$ を計算したものである。社会的余剰は $r = 0.47$ で最大となるが、均衡比率は $r = 0.42$ である。 $r = 0.47$ の状態に誘導するためには、例えば始業時刻が遅いグループの運

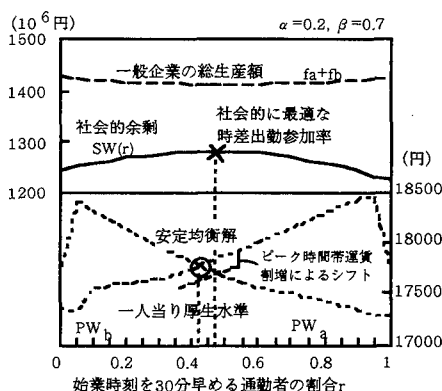


図-3 社会的余剰の最適化

賃を90円程度割り増しし、厚生水準 PW_b を下方にシフトさせ、 PW_a との交点を移動させればよい。なおこの政策は長期的に継続する必要がある。

5. おわりに

以上、鉄道通勤における時差出勤施策の導入インセンティブについて検討した結果、ロックイン効果により企業がインセンティブを持たない場合があり、行政が短期的にせよ一定の割合の従業員に時差を付けさせる必要があることを明らかにした。また社会的に最適な状態を誘導するために、行政による長期的な施策が必要である。

参考文献

- 1) 例えば、高山純一・谷英賢・木村実・小林正隆：金沢市における時差出勤制度の社会実験，土木計画学研究・講演集，No.20(2)，pp.831-834, 1997.
- 2) Henderson, J.V.: The economics of staggered work hours, Journal of Urban Economics, Vol.9, pp.349-364, 1981.
- 3) 文世一・米川誠：フレックスタイム制が混雑に及ぼす影響，応用地域学会発表論文，1997.11.
- 4) 小林潔司・奥村誠・永野光三：鉄道通勤交通における出発時刻分布に関する研究，土木計画学研究・論文集，No.14, pp.895-906, 1997.
- 5) 奥村 誠・永野光三・小林潔司：業務開始時刻の設定が鉄道通勤交通に及ぼす影響に関する研究，土木計画学研究・講演集，No.20(2), pp.839-842, 1997.
- 6) 志田州弘・古川敦・赤松隆・家田仁：通勤鉄道利用者の不効用関数パラメータの移転性に関する研究，土木計画学研究・講演集，No.12, 519-525, 1989.