

# ORのはさみでフレックス通勤問題を切る

吉村 充功, 奥村 誠

通勤混雑解消の切り札として、時差出勤やフレックスタイムなどのTDM施策への期待が高いものの、実際には期待通りに導入が進んでいない。この問題を分析する上では、時間的集積の経済性のために、ピーク時に通勤する方が有利な通勤者が多いことを認め、それを損なわないような形で混雑がもたらす負の外部効果を小さくする方法を探る必要がある。本稿では、フレックスタイム制度を、正と負の外部性が同時に存在する社会システムを制御する方策として位置づけることにより、最適制御というOR手法を用いて、施策の効果を見通しよく分析することができることを示す。

キーワード：フレックスタイム, TDM, 最適制御, 自動車通勤

## 1. 通勤混雑問題を解決するには

戦後から1970年代にかけて、わが国では人口や産業が都市部へ集中し、そのことが経済活動の効率性を高め経済成長の原動力となった。しかし鉄道のない地域への住宅化の進展とモータリゼーションの進行により、地方中小都市も含めて自動車交通量が増加し、通勤時には道路が慢性的な渋滞に陥って多大な経済損失を引き起こすようになってしまった。20世紀後半における都市交通計画の最大の課題は、このような通勤時の混雑や渋滞の問題をいかに解決するかであった。その方法としては、交差点の改良や道路の拡幅、新しい道路の新設などのハード面での対策が計画され、多大な資金が投入されて整備がなされてきたが、その効果を打ち消すほどの急激な自動車交通量の増加のために、十分な効果が発揮されていない。

財政が逼迫する一方で交通騒音や大気汚染などの環境問題が深刻化している現在の状況を考えれば、長期の建設期間と莫大な費用のかかる大幅な道路整備によって通勤時の交通問題が解決されるのを待つことはできない。また、人口の減少や都市機能の分散から、遠くない将来には通勤需要が減少する都市も出てくるが、だからといって目の前の渋滞を放置することは許されない。

そのため、こういったハード面での施策ではなく、通勤需要のピークの分散を図ったり、利用交通機関の

よしむら みつり

日本文理大学 工学部

〒870-0397 大分市一木1727

おくむら まこと

広島大学 大学院工学研究科

〒739-8527 東広島市鏡山1-4-1

転換やパーク・アンド・ライドを促すといった交通需要管理(Transportation Demand Management: TDM)施策が、即効性のある解決策として期待を集めている。通勤混雑問題に対して、行政は「フレックスタイム」や「時差出勤(始業)」による通勤需要のピーク分散効果に大きな期待を寄せている。これらの施策は行政としては「呼びかけ」のだけであり、費用がほとんどかからない。また混雑緩和効果は、社会実験などで確認されており[1]、通勤疲労の解消により通勤者自身の勤労効率が上がるとも言われている。

しかし、節2で示すように、この「切り札」であるはずのフレックスタイム制度は期待通りには浸透していない。本稿ではその根本的な理由を考察し、都市においてどのような形の通勤のあり方が望ましいのかを探る問題を最適制御問題の形で表し、ORという「はさみ」を用いて解明する方法を紹介したい。ここでは最も簡単な自動車通勤のみが存在する都市圏を例に、基本的な考え方のみを説明するが、モデルの詳細や解法については参考文献を参照されたい[2]。なお、著者は同様の考え方で、鉄道通勤のみが存在する都市圏のケース[3]、自動車と鉄道の両方が利用できる都市圏のケース[4]の分析を行っている。さらに混雑料金を合わせて導入した場合の分析も試みているので[5]、興味のある方はご一読いただきたい。

## 2. フレックスタイムが浸透しない理由

フレックスタイムや時差出勤は、少ない費用で大きな効果が期待できる「渋滞緩和の切り札」とされている。しかしながら、厚生労働省による「就労条件総合調査」によると、フレックスタイムの企業採用率は図1のように、平成14年現在5.0%と、十分浸透してい

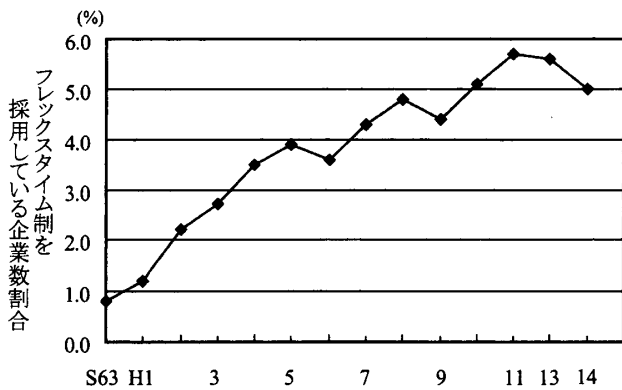


図1 フレックスを採用している企業の割合  
 (資料出所：平成11年まで労働省「賃金労働時間制度等総合調査」、平成13年から厚生労働省「就労条件総合調査」。注：調査期日は平成11年度以前は12月末日現在、12年度以降は1月1日現在であり、調査年を表章している)

るとは言い難く、最近では減少傾向にある[6]。

なぜフレックスタイム制度は浸透しないのだろうか？ 企業や労働者がこれらの施策の効果を理解していないことが原因なのだろうか？ それならば社会実験によって効果が明らかになれば、一気に導入が進むはずなのに、実態は違うようである。

フレックスタイム制度が浸透しない理由は、「(現在の混雑や渋滞を我慢して)自分の通勤時刻を動かさない方が有利である」と考えている企業や通勤者が多いからである。過去のアンケートでも、フレックスタイムの導入企業において制度を活用しない労働者にその理由を尋ねたところ、「相手方がいないので業務が進まない」、「顧客対応に支障をきたす」という回答が上位にあげられている[7]。

都市規模が大きくなると、通勤距離の増大や混雑現象による不経済が発生する。それにも関わらず大都市が存在する理由は、関連企業と地理的に近接して立地することにより業務効率が上昇するという、「集積の経済性」が存在するからである[8]。このような地理的な近接性に基づく集積の経済性を、時間的な近接性に一般化した概念が「時間的集積の経済性」である[9, 10]。すなわち、企業は、他の企業の労働時間帯と自らの労働時間帯との重なりが大きいほど、企業間の連絡や業務活動を設定しやすいため、より高い業務効率を達成できる。

フレックスタイムを導入しても、実際のピーク分散につながらないのは、企業や労働者が施策の効果を理解していないからではなく、企業や個々の労働者が享受している「時間的集積の経済性」(正の外部性)を

放棄することへの合理的な抵抗に基づくものである[11]。それならば、全員が一つの時刻を目指して通勤し、その結果渋滞や混雑が起こっている現在の状況は仕方のないことなのだろうか？

自動車通勤による混雑問題では、交差点や橋といったボトルネック(渋滞ポイント)への単位時間あたりの車の流入量が道路容量を超えたとき、混雑が発生する。このとき、ボトルネックの通過にかかる時間は、その車の流入時点における残留交通量に依存している。つまり通勤問題では、自身の行動によって後続の流入車に対して負の影響(所要時間の増加)を与えるという外部不経済性(負の外部性)が存在するのだが、ドライバーがそれを認識していない。このような場合、社会的に見て最適な交通量よりも過大な交通量が一時点に集中するという問題が起こる。

一般に外部不経済性による問題は、社会的費用と私的な費用との差額を課税することにより解消できることが知られている(ピグー税)。通勤混雑の場合にも、ロードプライシングにより通勤交通の時間的な集中を避けるという方法が考えられる。しかしながら、通勤交通問題には時間的集積の経済性という正の外部性が働いているため、この効果を無視して混雑を完全になくすようにプライシングを行うことは社会的に見て最適な状況をもたらすとは限らず、大きな経済損失をもたらす可能性すらある。

このように、フレックスタイム通勤問題は、正の外部性と負の外部性が共存する社会システムの問題であり、その最適な解は自明ではない。すなわち、全員が一斉始業してひどい渋滞が起こっていることが望ましいわけではないものの、全員がフレックスタイム制度を活用して異なる時間に始業するのが良いわけでもない。最適解が自明ではないゆえに、一体どのような通勤の状況が望ましい解であるのか？ そのためにはどのぐらいの人がフレックス始業をすればよいのか？ そのことによって社会的にはどれだけの効果が期待できるのか？ ということを明らかにしておく必要がある。そのためにOR手法が必要とされるのである。

### 3. 正と負の外部効果のモデル化

#### 3.1 業務活動における正の外部効果

企業の業務活動による生産額について、フレックスタイムの本質に関わる部分だけ抜き出して考えよう。時間的集積の経済性を明示的にとりこむため、ある企業の労働者の生産活動のアウトプットは、その時点に

都市内で勤務中の労働者数の割合に依存する瞬間的な生産関数を、自身の労働時間で積分したものと表す[10, 11].

$$\begin{aligned} & \text{(各労働者の生産額 } Y(t)) \\ & = \int_{\text{(労働時間)}} \text{(勤務者割合に依存する瞬間的生産関数)} \end{aligned} \quad (1)$$

各労働者の生産額は、自身の労働時間帯が他の労働者の労働時間帯と大きく重なっているほど高くなる。その効果の大きさは時間的集積の経済性の大きさに依存し、自動車製造・鉄鋼産業のような装置依存型産業、電気・ガス・水道業といった対人的業務の要素を持つ公益サービス産業では大きく、コンサルタント業・学術研究機関のような知識集積型産業、内勤型サービス業などでは小さいと考えられる[12].

簡単のため、すべての労働者の1日の労働時間の長さはフレックスタイム制度によらず一定であると仮定する。このとき、自身の始業時刻にすでに勤務を開始している労働者の割合と、1日あたりの生産額との関係を模式的に描くと図2のようになる。つまり、1日の生産額は、全従業者数のちょうど半数が勤務している状態で始業するとき最大となり、その前後では減少する上に凸で左右対称な関数となる。つまり、半数の従業者が始業するまでは、出社後早く始業するよりも始業を待った方がより高い生産額が得られ、半数以上が始業していれば、出社後すぐに始業する方がより高い生産額が得られる。

企業単位で見れば、いろいろな始業時刻の労働者が存在し、彼らの生産額がいったん集められた上で、各労働者にほぼ均等に分配されるだろう。しかし都市規模に比べて企業の規模が小さければ、各労働者には、自身が生産した生産額に応じて賃金が配分されると見なすことができる。このことから、多くの通勤者は他

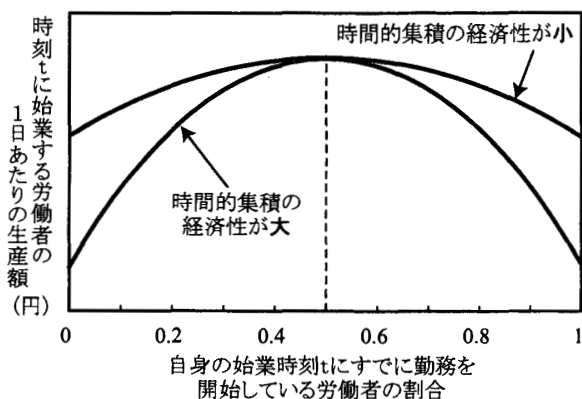


図2 始業時刻での勤務者割合と生産額の模式図

の労働者の始業時刻に合わせて始業しようとし、待ち時間を少なくするために通勤時間帯が特定の時間に集中するという結果がもたらされる。

### 3.2 労働者の出勤時の不効用

労働者の自宅出発時刻の選択行動を考えよう。各労働者は、生産額（すなわち賃金）への影響を考えて各自の始業時刻を決め、さらにボトルネックの通過時間（混雑がひどいほど時間がかかる）を含んだ通勤所要時間と、混雑を回避するために自宅を早く出発することによる機会費用の損失（スケジュールコスト）とのトレードオフを勘案して、自宅出発時刻を選択していると考えられる。この関係を表すために、出勤時の不効用をボトルネック通過時間（交通所要時間）と自宅を早く出発することによる機会費用の損失（スケジュールコスト）の和により表す。始業時刻を所与とすれば、出勤時の不効用  $U(t)$  は自宅出発時刻  $t$  の関数として次式のように表される。

$$\begin{aligned} & \text{(出勤時不効用 } U(t)) \\ & = \text{(ボトルネック通過時間)} \\ & + \text{(自宅の早発による機会費用の損失)} \end{aligned} \quad (2)$$

この通勤不効用関数による自宅出発時刻と出勤時不効用との関係を模式的に描くと図3のようになる。始業時刻に近い時刻に自宅を出発すると機会費用の損失は少ないが、この時間帯にボトルネックに流入する車が集中するため、通過時間が最大となる。一方で、始業時刻から離れるほど、ボトルネックの通過時間は短くなるが、自宅の早発による機会損失が大きくなる。

なお帰宅時の不効用  $V(t)$  も、退社時刻  $t$  に依存し、図3と同様に上に凸の形の関数となる。

### 3.3 労働者の通勤・始業時刻の決定

労働者  $q$  の効用  $W(q)$  は賃金  $Y(q)$  から出勤・帰宅時の不効用  $U(q)$ ,  $V(q)$  を差し引いたもので、次式で表される。

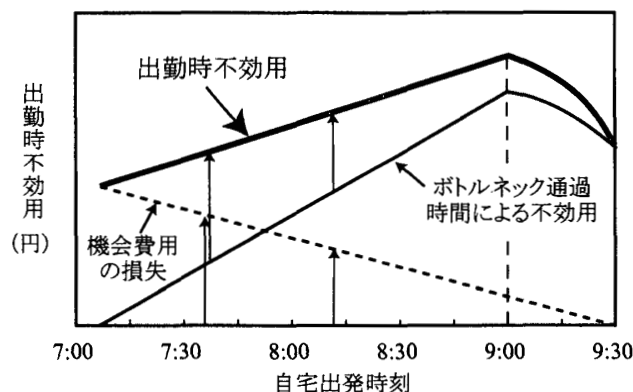


図3 自宅出発時刻と出勤時不効用の模式図

$$W(q) = Y(q) - U(q) - V(q) \\ = Y(n(q)) - U(a(q)) - V(l(q)) \quad (3)$$

フレックスタイム制度下では、各労働者はコアタイムの時間帯  $[T_m, T_e]$  に必ず勤務し1日の労働時間  $H$  を守る限り、始業時刻  $n(q)$  を自由に選択できると仮定する。また、自宅出発時刻  $a(q)$ 、退社時刻  $l(q)$  も自由に選択できると仮定する。

労働者が合理的ならば、効用  $W(q)$  を最大化する。その結果、すべての労働者の効用は一定の水準に落ち着くであろう。もし効用が異なる労働者が存在するなら、効用の劣る労働者は効用の勝る労働者と同じ時刻に変更するはずであり、格差のある状態が残存することはないからである。

このことから、労働者に時刻選択が任されていることは、次の等効用条件で表現することができる。

$$\dot{W}(q) = 0 \quad (4)$$

## 4. 最適な通勤・始業パターン

### 4.1 最適なフレックス通勤パターン

フレックスタイム制度下で各通勤者が自由に行動する状況では、等効用条件(4)を満たす通勤・始業時刻分布のうち、全労働者 ( $N$  人) の効用  $W(q)$  の合計である社会的厚生  $SW$  を最大化するものが、最適なフレックス通勤の方法となる。

$$SW = \int_0^N W(q) dq \quad (5)$$

この問題は、始業時刻分布  $n(q)$  の代わりにその微係数  $\dot{n}(q) \equiv \gamma(q)$  を考えることにより、以下のような最適制御問題として定式化できる。

$$\max_{\gamma(q), a(q), l(q)} SW = \int_0^N W(x(q), \gamma(q), q) dq \quad (6)$$

$$\text{subject to } \dot{W}(q) = 0 \quad (7)$$

$$\dot{Y}(q) = A\{(N-q)^\alpha - q^\alpha\} \gamma(q) \quad (8)$$

$$\dot{n}(q) \equiv \gamma(q) \quad (9)$$

ただし、 $x(q)$  は状態変数を表し、具体的には  $n(q)$ 、 $Y(q)$  を指す。

最適制御理論[13]を用いて求解する上では、自宅出発時刻と退社時刻が満足すべき条件式を用いて状態変数化して、一つの制御変数  $\gamma(q)$  のみを持つ問題に変換すればよい。

変換後の問題は Bang-Bang 制御となるため、 $\gamma(q)$  は0で特定時刻に始業を行う解と、交通渋滞を起こさないように交通容量の制約一杯に始業者数を変化させる解のどちらか一方、あるいはそれらの組み合わせの

みが最適解になる[2]。  $Y(q)$  の関数形を考慮すれば、必要条件を満たす始業時刻分布は以下の四つのパターンのいずれかとなる。

1. 全員が一斉始業 (完全一斉始業)
2. 一部の一斉始業者の後にフレックス始業者が存在 (一斉始業/フレックス始業混在 1)
3. 一部の一斉始業者の前後にフレックス始業者が存在 (一斉始業/フレックス始業混在 2)
4. 全員がフレックス始業 (完全フレックス始業)

定数値を与えたときの解の形状は節 4.3 で図示する。

### 4.2 一斉始業下の最適通勤パターン

一斉始業しか許されない状況下では、先の最適制御問題(6)~(9)において、制御変数が  $a(q)$ 、 $l(q)$  のみの問題を考えることになる。

上の問題では制御変数であった  $\gamma(q)$  が固定されているため、より小さい解の許容集合の下で最大化を行うことになり、社会的厚生はフレックスタイム制度下の最適値を上回ることはない。この差の部分を、フレックスタイム制度の経済的な価値であると見なすことができる。

一斉始業の状況では、労働時間の重なりは最大となるので時間的な集積の効果が最大限発揮され賃金部分のみを見れば最大値となることが保証されている。社会的厚生が最大値よりも劣ることを併せれば、通勤の不効用の部分はフレックスタイムにおける不効用を下回ることはいずれも、もし両方の解の通勤の不効用が等しいならばそのときには一斉始業が最適解となることが保障できる。

### 4.3 数値計算例

以上の議論を確かめるために、各定数に現実的な以下の値を設定して数値計算を行う。

出勤時の時間価値  $c_m = 10$  (円/分)、出勤時の混雑費用  $e_m = 40$  (円/分)、帰宅時の時間価値  $c_e = 5$  (円/分)、帰宅時の混雑費用  $e_e = 25$  (円/分)、交通容量  $k = 50$  (人/分)、総通勤者数  $N = 5,000$  (人)、労働時間  $H = 450$  (分) (ただし、図の表示には昼休憩 60 分を含む)、技術定数  $A = (44.4) / ((5,000)^\alpha)$  (全員が一斉始業の時に賃金が  $Y(q) = 20,000$  (円))、基準時刻  $T_m = 10:00$

図 4 は「時間的な集積の経済性」が小さい ( $\alpha = 0.2$ ) ときのフレックスタイムと一斉始業の下での効用の構成成分ごとの平均値を示している。

(i)一斉始業下の基本ケースと(ii)フレックスタイム下と比較すると、この数値例ではフレックスタイム制度

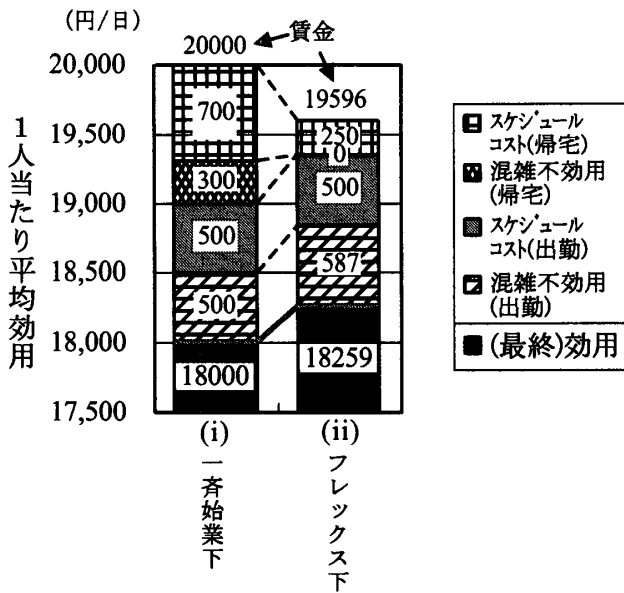


図4 労働者の効用の構成成分の比較

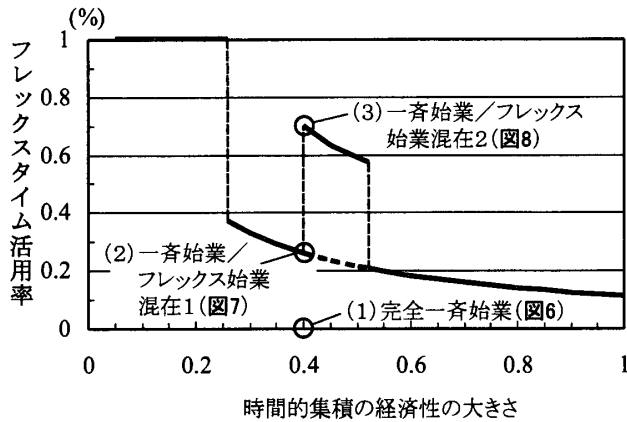


図5 最適解におけるフレックス始業者の割合

の導入により、賃金が404円減少するが、それを上回る帰宅時のスケジュールコストの減少(450円)と混雑不効用の減少(300円)があるため最終的に獲得する効用は増加し、259円の効果があることが分かる。なお、出勤時の混雑不効用の平均は87円上昇する。

次に、最適解においてフレックス始業を行っている通勤者の割合(フレックスタイム活用率)の算出を行った(図5)。ここではフレックスタイム制度を導入時にはすべての通勤者にフレックス始業を認めると仮定して最適解を求めているが、実際には、活用率を上回る通勤者にフレックスタイム制度が適用されれば、最適なパターンを実現できる。つまり、フレックスタイム活用率はフレックスタイムを導入すべき割合の目標値と見なすことができる。

図5より、(ii)フレックスタイム下では、 $\alpha > 0.25$  のとき1~4割の通勤者にフレックスタイム制度が適用されていけばよい。なお、 $0.40 < \alpha < 0.52$  では、(3)一

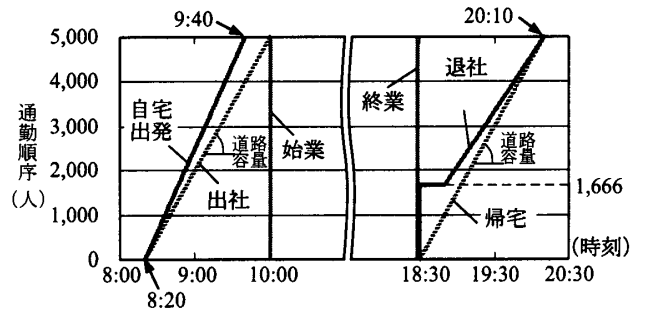


図6 完全一斉始業パターン

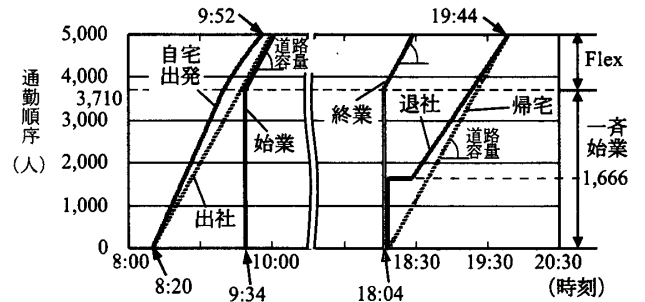


図7 一斉始業/フレックス始業混在1パターン

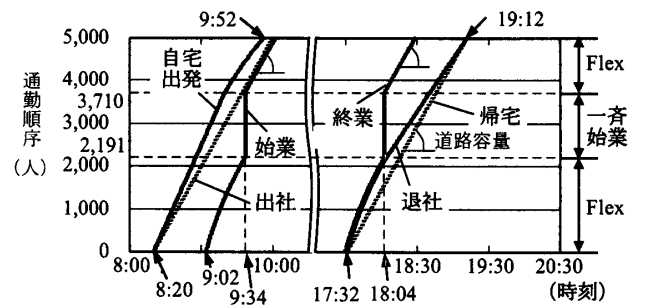


図8 一斉始業/フレックス始業混在2パターン

斉始業/フレックス始業混在2パターンが最適パターンとなるため、活用率が6割程度と大きくなるが、効用は(2)一斉始業/フレックス始業混在1パターンと大きく異ならないため、現実的にはフレックスタイム活用率の小さい(2)一斉始業/フレックス始業混在1パターンを達成すれば十分である(割合は図中の破線)。

$\alpha = 0.40$  の場合について、(1)完全一斉始業パターンにおける始業、自宅出発、退社時刻の解を図6に、(2)一斉始業/フレックス始業混在1パターンと(3)一斉始業/フレックス始業混在2パターンの解を、それぞれ図7、8に示している。

## 5. おわりに

本稿では、大部分の地方都市圏の主要な通勤手段である自動車通勤を念頭に、フレックスタイム制度の導入の問題点を考察して、企業や労働者が享受している時間的な集積の経済性を損なわないような形で混雑緩

和を進める方法を議論する必要性を述べた。

次に、フレックスタイム下での最適な通勤時刻・始業時刻分布を求める考え方を説明し、フレックスタイム制度の経済効果の計測方法と実現可能な始業時刻分布パターンを明らかにした。また、数値計算により、フレックスタイム制度の導入により効用は改善されるが混雑が悪化する可能性もあること、最適な状況を達成するには、1~4割の企業がフレックスタイム制度を導入する必要があることなどを示した。

これまで、交通渋滞の問題は、渋滞がもたらす負の外部性をどのように排除するかという視点で捉えられてきた。もし負の外部性のみが作用しているならば、ピグー税などの導入を行えば問題は解決できる。実際に多くの問題が未解決なままであるのは、負の外部性と同時に正の外部性が存在しているために、提案される解決策によって不利益を感じる人々が存在していて、解決策の導入に反対していることが多いのではないだろうか。

本稿で取り上げた通勤交通問題へのアプローチが、正と負の外部性が共存しトレードオフの関係にある様々な問題の解決策を考える際の一助になり、ORの分析手法がこの種の問題を切る「はさみ」として有用に使われていくことを期待している。

#### 参考文献

- [1] 高山純一, 谷英賢, 木村実, 小村正隆: “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・論文集, Vol. 15, pp. 821-830, 1998.
- [2] 吉村充功: “企業の生産性を考慮した最適フレックスタイムパターンの研究”, 日交研シリーズ A-322, 日本交通政策研究会, 2002.
- [3] 吉村充功, 奥村誠: “鉄道通勤におけるフレックスタイム制度下の通勤・始業時刻分布”, MPEC研究会(編), 「MPECにもとづく交通・地域政策分析」, 第4章, 中京大学経済学部附属経済研究所, 勁草書房, 2003.
- [4] 吉村充功, 奥村誠: “自動車・鉄道の分担を考慮したフレックスタイム制度下の最適通勤・始業時刻分布の分析”, 土木計画学研究・論文集, Vol. 20, 2003(印刷中).
- [5] 吉村充功, 奥村誠, 松本寛史: “フレックスタイム制度下における最適ピークロードプライシング”, 土木計画学研究・論文集, Vol. 19, No. 4, pp. 823-830, 2002.
- [6] 厚生労働省統計情報部: “平成14年就労条件総合調査”, 2002.
- [7] 財団法人運輸経済研究センター: “オフピーク通勤による混雑緩和効果の解析調査報告”, 1995.
- [8] 中村良平, 田淵隆俊: “都市と地域の経済学”, 第2章, 有斐閣ブックス, 有斐閣, 1996.
- [9] Hall R.: “Booms and Recessions in Noisy Economy”, Yale Univ. Press, 1991.
- [10] Henderson J. V.: “The economics of staggered work hours”, Journal of Urban Economics, Vol. 9, pp. 349-364, 1981.
- [11] 文世一, 米川誠: “フレックスタイムが交通混雑に及ぼす影響”, 日交研シリーズ A-260, 日本交通政策研究会, 1998.
- [12] 吉村充功, 奥村誠, 塚井誠人: “都市内業務トリップにおける時間的集積の経済性”, 都市計画論文集, Vol. 34, pp. 217-222, 1999.
- [13] 志水清孝: “最適制御の理論と計算法”, pp. 54-104, コロナ社, 1994.