【土木計画学研究・講演集 No.12 1989年12月】

通勤鉄道混雑緩和策としての需要制御政策の評価

AN EVALUATION OF A DEMAND CONTROL POLICY
AS A METHOD OF MITIGATING THE COMMUTER'S TRAIN CONGESTION

家田 仁*・島崎敏一*・畠中秀人**・高池勇人***

By Hitoshi Ieda, Toshikazu Shimazaki, Hideto Hatakenaka and Hayato Takaike

Nowadays, the commuter's train congestion became to be treated as one of the most important problem. In this paper, we evaluate the effect of a demand control policy as a method of mitigating the commuter's train congestion. As the result of this study, we formulate commuter's train choice behavior, and estimate the commuter's congestion estimating charasteristics. And we formulate the commuter's demand concentration characteristics. By using these models, we simulate the change of commuter's demand and the change of utility, when demand control policies(flextime, peak-load -pricing) are applied.

1．はじめに

今日のわが国の社会基盤サービスは、一定の水準に達したものもあるが、総じて低水準にとどまっており、先進主要国と比較するとかなり低水準である。その中でも、特に整備が遅れているのが大都市における通勤輸送であり、ピーク時の混雑状況には甚だしいものがある。

しかし、今後２１世紀に向けて生活のゆとり、潤いを重視するという流れの中で、通勤鉄道の混雑の緩和も重要な課題の一つとして取り上げられるようになってきており、種々の混雑緩和の方策もとられてきた。

本研究では、その手段の一つとして需要側からの対策、なかでも、中期的な対策である需要集中の分散をはかる方策としての勤務時間制度の変更（具体的にはフレックスタイム）及び運賃制度の変更（具体的にはピーク・ロード・プライシング）を考え、実際の鉄道通勤者の通勤行動を把握することによって、これらの施策が行われた場合の需要集中の低減効果を予測し、また、その効果を乗客の行動を分析することによって算出したパラメーターを用いて定量的に評価することを目的とする。

2．貨幣的費用を考慮した鉄道通勤旅客行動特性の評価

本章においては、需要制御政策が行われた場合の鉄道通勤旅客の行動を把握するための基礎となる貨幣的費用を考慮した通勤行動特性、特に混雑評価特性を評価することを目的とする。そのため、通勤旅客がどのようにして乗車する列車を選択しているかをモデル化し、そのモデルによって説明される行動を実測調査することによってモデルのパラメーター

* 正会員 工博 東京大学助教授 工学部土木工学科
（〒１１３ 文京区本郷７－３－１）
** 正会員 工修 建設省
*** 三菱信託銀行

を決定する。

（１）列車選択行動モデル

本章で扱う状況は以下のようであるものとする。

①朝夕のラッシュ時に、乗客の大部分が通勤客で占められるような通勤鉄道の駅において、利用者が駅に到着後、各自の感じる不効用に応じて列車を選択する行動を対象とする。

②利用者は各列車の待ち行列を観察することで、各列車の着席可能性を知ることができる。また、利用者は各列車についての情報（混雑度、発車時刻等）をある程度、毎日の経験から知っているものとする。

③対象駅では、運賃が異なる特急列車が走っており、その列車も選択が可能である。

以上のような交通環境における列車選択行動を問題とするわけであるが、ここでは行動を決定する因子（媒介変数）として、待ち時間、乗車時間、着席可能性、混雑回避、運賃を考慮することとし、それに基づいて効用関数を設定する。

まず、ある利用者が駅に到着した時刻をＴ、ある列車ｉを選択した場合の待ち時間をｔｗｉ、列車ｉの発車時刻をＴｄｉ、列車ｉでの目的駅までの乗車時間をｔＬｉとする。利用者が列車ｉを選択することの不効用を立席の場合を基準と考えて、乗車時間と待ち時間の和（等価とおく）であらわすとすると、もし着席できた場合には、不効用は立席の場合に比べ同等以下で、かつ正であると考えられる。また、この時の着席可能性を時刻Ｔｋにおける列車ｉの待ち行列人数Ｙｉ(Ｔｋ)の関数とみなし、

$f(Y_i(T_k))$ とおく。ここで、文献-1により定義された着席効用度と呼ばれる無次元数γを用いるとすると、列車ｉを選択することの期待不効用は、

$$U_{ti} = t_{wi} + f(Y_i(T_k))\cdot(1-\gamma)\cdot t_{Li} + (1-f(Y_i(T_k)))\cdot t_{Li} \qquad (2\text{-}1)$$

となる。実際には、着席効用度分布を推定するにあたって、着席効用度を持つ集団と着席効用度を持たない集団との二つに単純化して、その効用度の値γと集団の発現確率ｐを求めることとなる。一方、待ち時間ｔｗｉは、

$$t_{wi} = T_{di} - T \qquad (2\text{-}2)$$

であるから、結局列車ｉの着席を考慮した時間に対する期待不効用は、Ｔにより不変の項を省略して、

$$U_{ti}(T) = T_{di} + t_{Li} - f(Y_i(T_k))\cdot\gamma\cdot t_{Li} \qquad (2\text{-}3)$$

と表されることになる。

次に、混雑に関する不効用Ｕｃの算出には、文献-2により定義された混雑率ｒの関数である混雑不効用関数ｆｃを用いる。これによると、普通列車程度の混雑では不効用は０とみなしてもよいことになる。よって、列車ｉでの混雑率ｒの状態での乗車時間をｔＬｉとすると、混雑不効用Ｕｃｉは、

$$U_{ci} = f_c(r)\cdot t_{Li} \qquad (2\text{-}4)$$

となる。

以上のことより、貨幣的費用を除いた列車ｉの期待不効用Ｔｉは、次式で表される。

$$T_i = U_{ti} + U_{ci} \qquad (2\text{-}5)$$

これらの不効用に貨幣的費用（運賃）を加えて総期待不効用を算出するために、ここでは次の効用関数を適用する。

$$\text{総期待不効用}：U_i = C_i^{\alpha}\cdot T_i^{1-\alpha} \qquad (2\text{-}6)$$

（Ｃ：貨幣的費用，α：パラメーター）

ここで、この関数の傾きはその点における利用者の時間価値（の負をとった値）となる。従って、貨幣的費用＝Ｃ、時間的費用＝Ｔの時の時間価値ｗはパラメーターαを使って、

$$w = \frac{C}{\alpha\cdot T} + \frac{C}{T} \qquad (2\text{-}7)$$

と表すことができる。

次に、乗客の列車選択行動の定式化を行う。

列車選択行動を考える前提として、利用者は不効用に対する各々の評価基準に基づき、総不効用Ｕが最小となるような列車を選択するものと仮定する。また、その選択範囲及び選択ルートは、常識的な範囲で列挙しておく（例えば、乗換えは１回まで、５本先の列車までを選択対象とする）。

本研究では、式(2-6)による総期待不効用関数を用い、ロジット・モデルを適用して各列車の選択率を推定する。すなわち、列車ｉを選択する確率Ｐは、

$$P(i) = \frac{\exp(U_i)}{\Sigma\exp(U_j)} \qquad (2\text{-}8)$$

と表される。

したがって、時刻Ｔでの乗客の駅への到着人数をＩ(Ｔ)とおくと、列車ｉの選択者総数$\phi_i(T)$は、

$$\phi i(T) = I(T) \cdot P(i) \qquad (2\text{-}9)$$

となる。また、推定される待ち行列人数Φi(T)は選択者総数φi(T)によって、

$$\Phi i(Tk) = \int_{-\infty}^{T} \phi i(T)dT \qquad (2\text{-}10)$$

と表されることになる。

（２）東京圏通勤鉄道における実測調査

前項で述べた不効用関数のパラメーターの推定を行うために、総武快速線東京駅において乗客の行動の実測調査を行った。

総武快速線東京駅からは、ホームライナー津田沼という有料快速列車が数本走っている。東京駅始発で津田沼駅までノンストップであり、また定員制であるため必ず着席できる。また、車両も特急型の車両を使用している。ノンストップの列車ではあるが、所要時間そのものは他の快速列車とほとんど変わらないため、時間短縮の効果はほとんどなく、座席獲得と混雑回避の効果が大きい。乗車するには、乗車券（普通、定期、回数）の他に３００円の乗車整理券が必要であり、乗車ホームの列車入口で整理券を購入して列車に乗り込むという形式になっている。

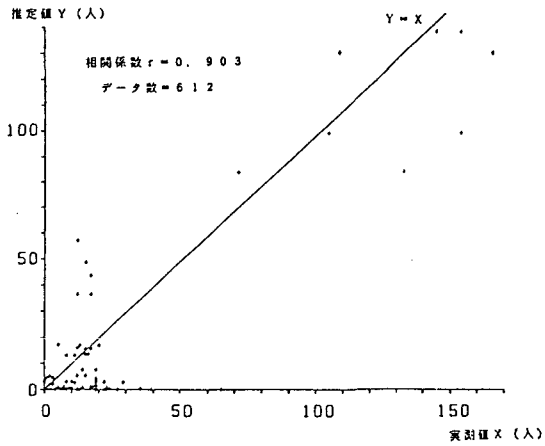
調査項目としては、待ち行列調査（各列車の待ち行列人数を、サンプル車両について、行列が出来始めてから列車の閉扉時刻まで時系列的に測定）及び車両別乗客人数調査（サンプル車両の乗車人数が列車全体の乗客数に占める割合を測定）を行った。

調査日時は１９８８年１１月８、９日の２０時３０分～２２時００分であったが、特記すべき遅れ、その他問題になるようなことは生じなかった。

（３）混雑評価特性の推定結果

推定を行うパラメーターは、総不効用関数におけるα、着席効用度分布を求めるための効用度を持つ集団の確率ｐ、その効用度γの３個である。

具体的な推定方法としては、各時刻の各列車における待ち行列人数Φi(T)を前述の列車選択行動モデルを用いて推定し、その推定値と実測調査による実測値Yi(T)とを比較し、その誤差二乗和が最小になるように各々のパラメーターを変化させて推定を行う。その際、貨幣的費用Ｃi としては普通列車に乗車する場合は定期券料金を（有効日数×２）で除したものを、ホームライナーに乗車する場合はそれに



図－１　待ち行列人数の実測値と推定値

３００円を加えたものを採った。

その結果、推定されたパラメーターの値は以下の通りであった。

$$\alpha = 0.44$$
$$\beta = 1.00$$
$$\gamma = 0.40$$

これらのパラメーターを採用したときの待ち行列人数の実測値と推定値の関係を図－１に示す。データ数は６１２個、相関係数はＲ＝０．９０３であった。

３．勤務時間制度と運賃制度を用いた需要制御政策

（１）需要集中特性モデル

ここでは、需要制御政策が行われた場合の鉄道利用者の行動を把握するために、鉄道通勤者の需要集中のモデル化を行う。

このモデルにおいては、鉄道を主要な手段として居住地から都心の勤務地へ向かう就業者を対象にし、次のような前提の下にモデル化を行う。

①就業者は、居住地を出発してから勤務を始めるまでの不効用が最も小さくなるように、出社する時間を決定する。

②居住地から主要鉄道路線の乗車駅までのアクセス、降車するターミナルから勤務地までのイグレスは、出社する時間によって条件が変化しない。あるいは鉄道路線に乗車している時間に比べてアクセス、イグレス時間が相対的に短く、その変化が通勤全体

の不効用の中に占める割合が小さい。

入力としては、企業の始業時刻分布$\phi s(t)$と通勤路線のターミナルから企業までのイグレス時間分布$\phi l(\tau)$をとる。（なお、ここでのイグレス時間分布とは、ターミナルから勤務地までの所要時間全てをいうものとし、他の鉄道の所要時間を含む）

両者は独立であると仮定すると、ターミナルに到着しなければならない時刻制約の分布$\phi T(t)$が次のように求まる。

$$\phi T(t)=\sum_{\tau=0}^{Tl}\phi s(t+\tau)\cdot\phi l(\tau) \qquad (3\text{-}1)$$

$\phi T(t)$の各グループの中で、路線の各駅からターミナルまでの人数の比率は与えられた朝ラッシュ時間帯のＯＤ分布に等しいと仮定し、各々の時間制約の中で乗車する列車を選択しているものと考える。列車の選択の基準としては、総所要時間、早着時間（勤務地に着いてから始業時刻までの時間、この時間に対しては賃金が支払われない）、着席効用、混雑、貨幣的費用による不効用を考える。ただし、早着時間はそのまま不効用として加算されるのではなく、ある重みをもって不効用に加えられるものとし、

$$0 \leqq \beta \leqq 1$$

なるβを通勤所要時間（すなわち全く無駄になってしまう時間）に対する早着時間の重みのパラメーターとして採ることとする。そうすると、鉄道利用者が選択しうる列車ｉについて、その列車ｉを選択することによる通勤の総不効用は

総不効用＝｛総所要時間
　　＋β・（早着時間）
　　＋混雑不効用　【立席の場合】
　　－着席効用　　【着席の場合】｝^α
　　・｛貨幣的費用｝^（１－α）

(3-2)

となる。すなわち、列車ｉを選択することによる通勤の総不効用をＵｉとすれば、

$$Ui=\{(Td-Ta)+\beta\cdot(Te-Td)+(1-f(i)\cdot(Tc-Tb)-f(i)\cdot\gamma\cdot(Tc-Tb)\}^{\alpha}\cdot C^{(1-\alpha)} \qquad (3\text{-}3)$$

と表現することができる。ここで、

Ta：居住地出発時刻

Tb：鉄道乗車駅への到着時刻

Tc：ターミナル駅への到着時刻

Td：勤務地への到着時刻

Te：始業時刻

α：総不効用パラメーター

β：早着時間重み係数

γ：着席効用度

Ｃ：貨幣的費用

fc(i)；列車ｉを選択したときの混雑費用係数

f(i)：列車ｉを選択したときの着席可能性

である。

選択可能な各列車に対してこの不効用がそれぞれ算出され、その不効用が最小になるように各利用者が乗車する列車を選択していると考えられる。

以上のモデルによって鉄道利用通勤者の列車選択行動、すなわち需要集中が説明される。

また、パラメーターβの値を変化させて、それぞれの値について各列車を選択した場合の不効用を計算し、乗客をその不効用に対してロジットモデルなどで配分して、その値と実際の列車別の断面通過人員との乖離が最も小さくなるようにすることでパラメーターβの値を推定することができる。

（２）需要制御政策の試案と集中特性の予測

本節においては、需要制御政策の例として、勤務時間制度のフレックスタイムと運賃制度のピーク・ロード・プライシングを実際の鉄道路線に適用した場合の需要の変化とそれによる効用水準の変化を前節のモデルにより予測し、これらの需要制御政策の有効性を検討する。

a)フレックスタイム

フレックスタイムとは、労働者が一定の定められた時間帯の中で労働の始期（と終期）を自由に決定できるような労働時間制をいう（文献-3）。

次章においてシミュレーションを行うフレックスタイムの試案としては、現在の始業時刻を中心として、始期フレキシブルタイム、すなわちその時間内であればいつ勤務時間を開始してもよいという時間、を前後に当時間ずつ拡大していくものを考えることとする。その場合、現在と比較して、フレックスタイムの終わる時間まで出社時間の選択の巾を増やすことができ、また、フレキシブルタイムの間に出社すれば早着時間を０にすることができる。

b)ピーク・ロード・プライシング

ピーク・ロード・プライシングとは、時間帯による需要量の変動から未利用施設が発生しないように、施設の効率的利用をねらいとする価格政策である。

ここでは、ピーク・ロード・プライシングの試案として、朝ラッシュ１時間の列車を利用した全ての乗客に一定のピーク料金を賦課するタイプのものを対象とする。

４．需要制御政策シミュレーション

ここでは、前章の需要集中特性モデルを用いて需要制御政策を実際の路線の朝の上り方面通勤輸送においてシミュレートし、需要の変動と効用の変化の予測を行う。

（１）シミュレーション対象路線の選定

シミュレーションの対象となる路線は、モデルの仮定から、

①居住地から対象路線の駅までのアクセス、ターミナル駅から勤務地までのイグレスの時間が、対象路線の乗車時間に比べ、相対的に短いこと。

②朝ラッシュ時間の列車毎の断面通過人員のデータが入手できていること。

③ある程度以上の混雑が存在し、混雑を回避するために、ラッシュ時を避けて通勤するという行動が不自然でないこと。

が必要である。

また、解析を簡単化して路線の全利用者の中でターミナルまでの利用者のみを対象とするために、

④都心、あるいは副都心がターミナルとなっており、路線の利用者の多くがターミナルまでの利用者であること。

⑤上と関連して、ターミナル、あるいはターミナル手前の駅で他の路線に乗り入れをしていないこと。

を満足している必要がある。

これらの条件を最もよく満たす路線として、東武東上線をシミュレーションの対象に選定した。

東武東上線は、副都心の池袋をターミナルとする典型的な通勤路線であり、昭和６２年８月２５日から営団有楽町線と相互乗り入れを開始したが、この解析の対象とした昭和６１年１１月の時点では、他路線との乗り入れはなく、東武鉄道の交通量調査（文献-5）によれば、朝ラッシュ１時間の上り方向全乗客のうち約６７％が池袋までの乗客である。なお、朝ラッシュ１時間は７時３０分から８時３０分まで、朝ラッシュ２時間は７時３０分から９時３０分までである。

（２）需要集中特性モデルのパラメーターの推定

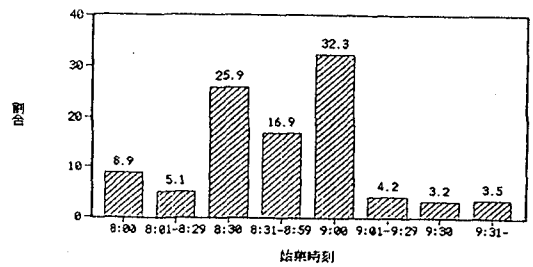
本節では、シミュレーション対象路線である東武東上線の朝通勤時上り方面の輸送に需要集中特性モデルを適用することによりモデル中のパラメーターの推定を行う。

解析の対象とするのは、池袋を降車駅とし、勤務地に９時３０分以前に到着した通勤定期乗客である。昭和６０年大都市交通センサスによれば、始発から９時３０分までの池袋駅到着者のうちの通勤定期乗客の割合は約６５％である。これ以外の乗客、すなわち、池袋駅以外の駅に到着する乗客の全てと池袋駅到着者のうち通学定期乗客と普通券乗客は解析の対象から除外した。

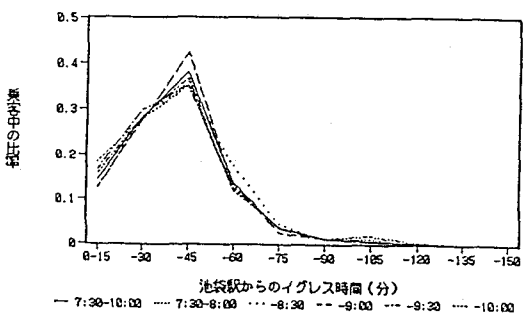
以下、東武東上線に需要集中特性モデルが適用できるかどうかを検討するために、モデルで定めた諸仮定が成立しているかどうかの確認を行う。

企業の始業時刻分布は文献-6によった（図－２）。

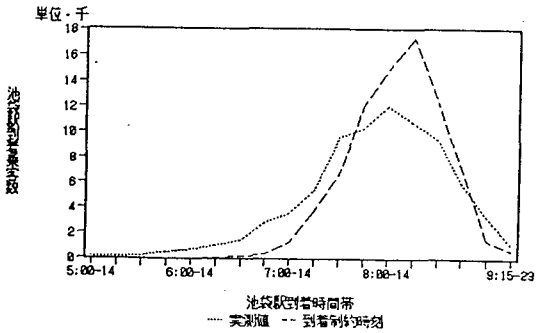
通勤路線のターミナルから企業までのイグレス時



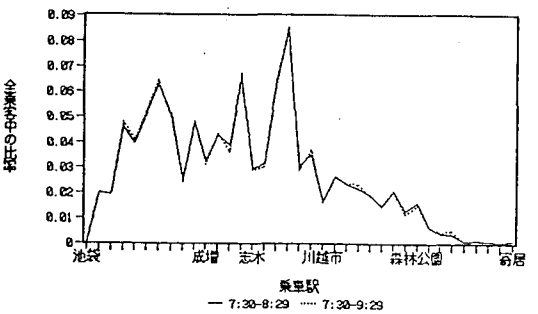
図－２　始業時間の分布（本社・平日）



図－３　勤務地到着時間帯別イグレス時間分布



図－4　池袋駅到着時刻分布と実測乗客数



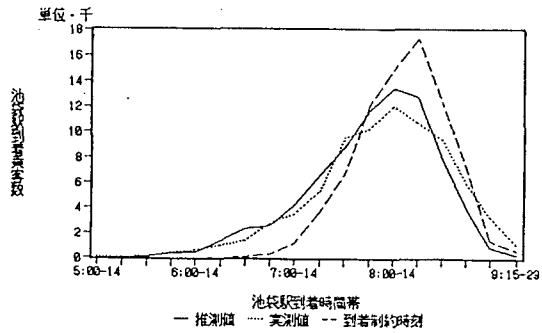
図－5　池袋駅到着時間帯別乗車駅比率

間分布$\phi 1(\tau)$としては、昭和６０年大都市交通センサスから抽出した東上線池袋駅利用者のイグレス時間分布を用いた（図－３）。この分布は、イグレス時間の分布が企業の始業時刻と独立であるという仮定を満たしている。

上の始業時刻分布$\phi s(t)$とイグレス時間分布$\phi 1(\tau)$から導き出された解析対象者の池袋駅到着制約時刻分布$\phi T(t)$と東武鉄道交通量調査および昭和６０年大都市交通センサスによる実際の解析対象者の池袋駅到着分布を図－４に示した。これを見ると、ピークの山が早い時間に移動し、また高さも低くなっており、混雑を避けるために通勤時間を早めるという行動が読み取れる。

図－５に朝ラッシュ１時間と２時間の池袋駅到着者の乗車駅別の比率を示す。これより、池袋駅到着制約時刻分布$\phi T(t)$の中で、路線の各駅からターミナルまでの人数の比率が時間によって変わらないという仮定をおいても不自然でないということが言える。

以上で、需要集中特性モデルが適用できることが確認された。



図－6　推測された乗客数分布と実測乗客数

前章で定義した需要集中特性モデルは、列車ごとに総不効用を算出して乗車する列車を選択するというモデルであったが、実際の路線では途中駅始発の列車などがあって列車ごとの選択では計算が煩雑になるため、１５分ごとに列車をまとめ、それぞれの時間帯の列車群について総不効用を算出して、列車に乗車する時間帯、すなわち出社する時間帯を決定するものとした。

また、式(3-3)中のパラメーターは総武快速線で推測された値である$\alpha=0.44$、$\gamma=0.40$を用いた。これは、パラメーターの時間的、空間的移転性を確認していないため、問題がないわけではない。

パラメーターβを０から１まで変化させて、時間帯別の池袋到着人数の推測値を計算し、その推測値と実測値の差の二乗和が最小になるようなβを求めた。

その結果推測されたパラメーターβの値は０．３０であり、そのときの推測値と実測値の相関係数Ｒ＝０．９３７であった（データ数＝１８個）。推測された乗客数の分布と実測乗客数の分布を図－６に示す。

（３）対象とした需要制御政策

前章で述べたように、フレックスタイムとピーク・ロード・プライシングを需要制御政策として東武東上線に適用して、その効果をシミュレートする。その際、

①フレックスタイムのみを適用した場合

②ピーク・ロード・プライシングのみを適用した場合

③フレックスタイムとピーク・ロード・プライシン

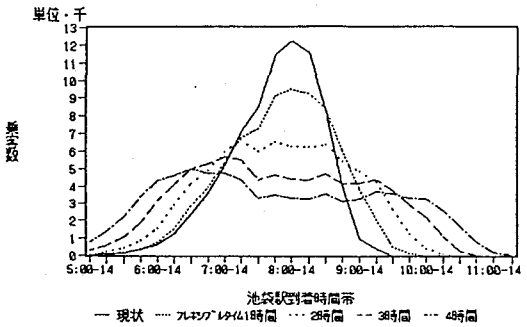
グを同時に適用した場合の三者について検討を行う。

これらの政策を適用する場合、当然、現在のオフ・ピークの時間帯の輸送力を増強しなければ、これらの効果は十分に発揮されない。ここでは、全ての時間帯の輸送力として、現在の輸送力の最大値をとった。これにより、ピークの低減効果が最大限に発揮されることとなる。

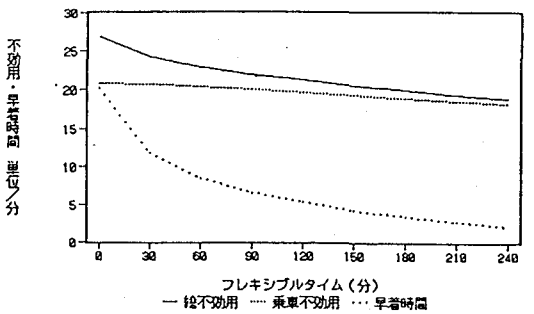
（４）需要制御政策の東武東上線への適用結果

図－７および図－８にフレックスタイムを東武東上線に適用した場合の計算結果を示す。図－８、あるいは以下の同様の図において、乗車不効用とは、立席の場合は乗車時間に混雑不効用を加えたものを、着席の場合は、乗車時間から着席効用を引いたものを意味する。また、総不効用とは、乗車不効用に、早着時間に重み係数βを掛けたものを加えたものを意味する。

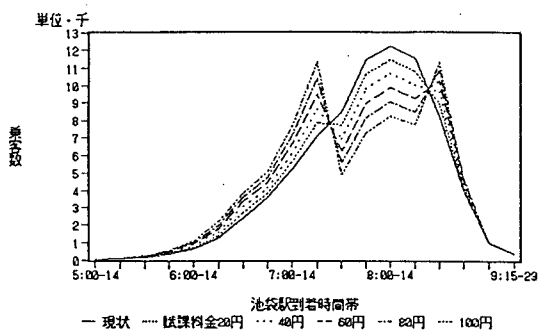
図－９および図－１０にピーク・ロード・プライ



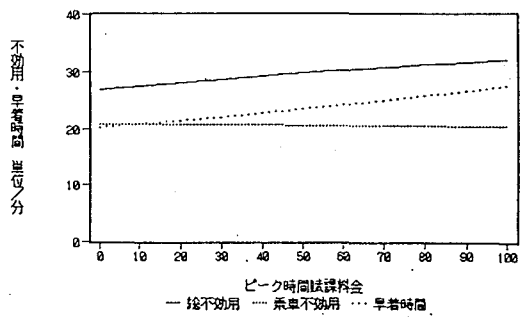
図－７　フレックスタイム適用時の池袋駅到着乗客数



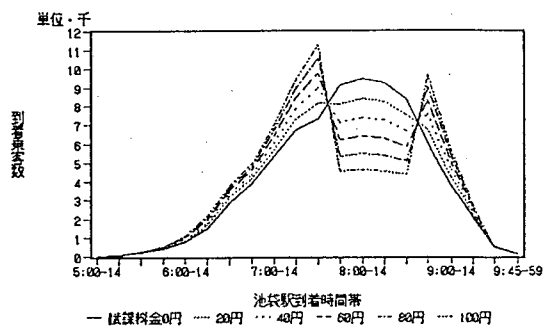
図－８　フレックスタイム適用による平均総不効用・早着時間の変化



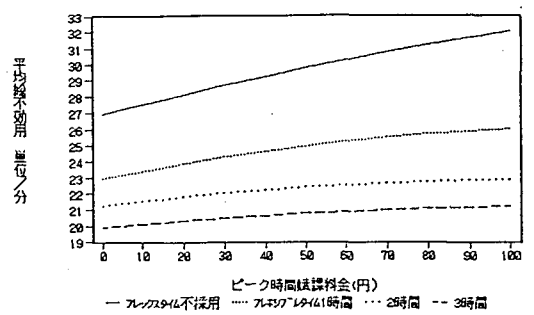
図－９　ピーク・ロード・プライシング適用時の池袋駅到着乗客数



図－１０　ピーク・ロード・プライシング適用による平均総不効用・早着時間の変化



図－１１　フレックスタイム，ピーク・ロード・プライシング併用時の池袋駅到着乗客数（フレキシブルタイム＝１時間）



図－１２　フレックスタイム，ピーク・ロード・プライシング併用時の平均総不効用の変化

シングを東武東上線に適用した結果を示す。ピーク時間賦課料金としては、２０円から１００円まで２０円刻みで計算した。

図－１１および図－１２にフレックスタイムとピーク・ロード・プライシングを東武東上線に併用した結果を示す。フレキシブルタイムとしては１時間をとり、ピーク時間賦課料金は２０円から１００円まで２０円刻みとした。

５．考察

需要制御政策としてのフレックスタイムとピーク・ロード・プライシングを比較すると、効果が大きいと思われるのはフレックスタイムの方であり、早着時間が減少するのは当然として、総不効用、乗車不効用ともに減少している。また、混雑緩和の程度として、最混雑時間帯の到着乗客数をとっても、着実に減少している。

それに対して、ピーク・ロード・プライシングは乗車不効用こそ減少するものの、早着時間、乗車不効用ともにピーク時間賦課料金を上げるにしたがって増加する傾向にある。また、ターミナルへの到着乗客数を見ても、賦課料金が６０円を越えると、もとのピーク時間帯の前後に新しいピークが生じてしまう。これは、ピーク・ロード・プライシングを掛ける時間帯を１時間としたことによると思われるが、実際にピーク・ロード・プライシングを採用することを考えると、１時間以上のピーク時間をとることは適切ではないであろう。

フレックスタイムとピーク・ロード・プライシングの併用は、適当な組合せであれば、最混雑時間帯の到着乗客数が減少する場合がある。しかし、総不効用そのものは賦課料金を上げるにつれて増加しており、需要制御の目的を総不効用の減少におく限り、ピーク・ロード・プライシングを需要制御政策として採用するのは意味がないように思われる。

６．結論及び今後の課題

本研究において得られた結論は次の通りである。

①東京圏の鉄道通勤路線で実測調査を行った結果、貨幣的費用を考慮した乗客の列車選択行動を定式化し、通勤旅客の混雑評価特性のパラメーターを推定することができた。

②鉄道通勤旅客の需要集中特性を定式化し、それを東京圏の鉄道通勤路線に適用することにより、需要制御政策としてのフレックスタイムとピーク・ロード・プライシングが適用された場合の需要の変化と不効用の変化をシミュレートすることができた。

③その結果、需要制御政策として実際的であるのは、ピーク・ロード・プライシングよりもフレックスタイムであることがわかった。

今後の課題としては以下が挙げられる。

①単一の路線における解析でなく、面的な広がりを持った路線網を対象として解析を行うこと。

②実態に即した始業時刻分布を解析に使用すること。

③列車別各駅間の断面通過人員のデータから、時間帯別にまとめるのではなく、列車別の詳しい解析を行うこと。

７．謝辞

本研究の遂行に当たり、貴重なデータを提供してくださった各鉄道会社の方々に感謝いたします。

８．参考文献

1)家田　仁：鉄道旅客輸送における着席効用の研究，東京大学工学部学位論文，pp.1-355，1986

2)美谷邦章・家田　仁・畠中秀人：乗車位置選択行動モデルを用いた混雑費用の定量的評価法，土木計画学研究論文集No.5，pp.139-146，1987

3)花見　忠・山口浩一郎：フレックスタイム，日本経済新聞社，1974

4)運輸省・運輸経済研究センター：昭和６０年大都市交通センサス首都圏総集編，運輸経済研究センター，1987

5)東武鉄道株式会社：第２１回旅客交通調査報告東上線，1987.3

6)労務行政研究所：労政時報第2894号，1988.9