

CIRJE-J-30

通勤の疲労コストと最適混雑料金の測定

大阪大学社会経済研究所
山鹿 久木

東京大学空間情報科学研究センター / CIRJE
八田 達夫

2000年8月

このディスカッション・ペーパーは、内部での討論に資するための未定稿の段階にある論文草稿である。著者の承諾なしに引用・複写することは差し控えられたい。

通勤の疲労コストと最適混雑料金の測定

本稿では、JR中央線沿線の家賃データをもとに、東京駅までの通勤時間と通勤時混雑率を説明変数とする家賃関数を推定し、それをを用いて2つの分析を行う。

第1に、通勤における総費用、時間費用、疲労費用を、等価変分概念を用いて求める。その結果、通勤の総費用に占める疲労費用の割合は5%~29%で、残りが時間費用であることを示す。

第2に、追加的な通勤者によってもたらされる混雑悪化の外部不経済を、混雑率増大の限界費用をもとに算出する。さらにそれにもとづいて、JR中央線の通勤混雑ピーク時に課すべき最適混雑料金を各通勤区間ごとに求める。混雑料金は、通勤区間ごとに異なるが、分析の結果、現行の定期運賃に比べてほぼ1倍~3倍に設定する必要があることが示される。

Estimation of Fatigue Cost of Commuting Congestion and Optimal Congestion Fare

This paper has three aims.

First, we estimate a hedonic housing rent function along the Chuo Line in Tokyo with (i) commuting time distance and (ii) congestion degree as explanatory variables.

Second, from the hedonic rent function thus estimated, we measure time cost and fatigue cost of commuting in terms of Equivalent Variation. We show that the fatigue cost of commuting is 5-29% of total commuting cost.

Third, from the fatigue cost thus estimated, we measure marginal external congestion cost of an additional passenger at the peak rush hour. This marginal external congestion cost is interpreted as optimal congestion toll. The result indicates that the optimal congestion toll for the most congested time is 1-3 times the current commuter-pass fare depending upon the train line segment.

通勤の疲労コストと最適混雑料金の測定

山鹿 久木

大阪大学*

八田 達夫

東京大学**

本稿では、JR中央線沿線の家賃データをもとに、東京駅までの通勤時間と通勤時混雑率を説明変数とする家賃関数を推定し、それをを用いて2つの分析を行う。

第1に、通勤における総費用、時間費用、疲労費用を、等価変分概念を用いて求める。その結果、通勤の総費用に占める疲労費用の割合は5%~29%で、残りが時間費用であることを示す。

第2に、追加的な通勤者によってもたらされる混雑悪化の外部不経済を、混雑率増大の限界費用をもとに算出する。さらにそれにもとづいて、JR中央線の通勤混雑ピーク時に課すべき最適混雑料金を各通勤区間ごとに求める。混雑料金は、通勤区間ごとに異なるが、分析の結果、現行の定期運賃に比べてほぼ1倍~3倍に設定する必要があることが示される。

1. はじめに

この論文の目的は、通勤鉄道沿線の家賃および鉄道混雑度データを用いて次の2つを測定することである。第1に、通勤の時間費用と混雑¹の疲労費用を等価変分として測定する。第2に、最適混雑料金を計測する。これらの測定のために、疲労に影響を及ぼす変数である混雑度が直接効用関数に入るモデルを採用する点に本稿の特徴がある。

第1の混雑による疲労費用と混雑度の関係の測定に的を絞った研究としては、二つの先行業績がある。福地(1976)は、混雑による疲労費用を、混雑に伴って必要とされる「異常カロリー消費量」を用いて測定した。このカロリー消費量を、事務作業を行った場合のカロリー量を用いて時間換算し、それを全通勤者についての合計したものを、混雑度ごとに計測した。これをさらに賃金率によって金銭換算したものを、通勤混雑費用としている。家田 他(1988,1989)では、通勤鉄道の利用者が混雑を回避するためにどのような行動をとっているかを実際に観測し、その回避のために乗客が受け入れている通勤時間延長を実測した。この通勤時間延長を、混雑疲労の不効用を示す変数として、混雑度を説明変数とする混雑不効用関数を推定した。

本稿を作成するにあたって、大竹文雄氏と文世一氏から数々の貴重なコメントを頂戴した。さらに京都大学経済学部、筑波大学社会工学科、学習院大学経済学部における研究会の参加者の方から有益なコメントを頂いた。なお山崎福寿・浅田義久の両氏から鉄道の区間毎の混雑率のデータの所在を教えていただいたことによって、はじめて、この論文を書くことができた。これらの方々に厚く御礼申し上げたい。

* 連絡先：〒567-0047 茨木市美穂ヶ丘6-1 大阪大学社会経済研究所、E-mail：yamaga@iser.osaka-u.ac.jp

** 連絡先：〒113-0033 東京都文京区本郷7-3-1 東京大学空間情報研究センター、E-mail：hatta@csis.u-tokyo.ac.jp

¹ 首都圏白書によると、通勤時の鉄道の混雑率は路線平均189%と高い値を示しており、200%を超えている路線も10路線ほどある。

両研究とも、混雑疲労の、時間で表した価格が、混雑度の違いによってどう変化するかを実証した独自の研究である。福地の研究は、仮に通勤疲労や事務作業疲労の主観的価値が、カロリー消費と比例するとすれば、疲労の主観的価値を（カロリー消費を仲立ちとすることによって）時間で計測できることを示している。ただし、疲労の主観的価値が、カロリー消費と本当に比例するの否かは判然としないという問題が残る。一方、家田等の研究では、混雑疲労を金銭換算するに当たって、通勤時間をどう金銭評価するかという問題が残る。時間を賃金率で評価するのは、一つの方法である。しかし、実際には通勤と労働では時間価値が異なる。さらに通勤の時間価値は、通勤時間距離自体からも影響を受ける。いずれの研究でも、混雑疲労費用の測定において、通勤者による時間と混雑度の総合的評価を反映した市場価格データが用いられていないことが限界になっているといえよう。

第2の最適混雑料金の測定に関しては、八田(1995)、および山崎・浅田(1999)の二つの先行業績がある。なお、最適混雑料金とは、1人の乗客が混雑した列車に乗車した時に他の乗客の疲労を増大させる外部不経済効果に等しい料金のことである。

八田(1995)は、混雑疲労費用の測定において、通勤者による時間と混雑度の総合的評価を反映した市場価格データを初めて用いた。日本では、通勤に関する金銭的費用が支給されている。それにもかかわらず、都心から離れるにしたがって地価・家賃が下がっている。これは、通勤に要する時間及び混雑による疲労という非金銭的な費用が地価・家賃に反映されているからである。このことに着目したHatta and Ohkawara(1994)は、中央線沿線の地価関数を時間を変数として推定し、そのパラメータを用いて疲労費用込みの通勤時間費用を測定した。この通勤費用の測定値を、八田(1995)は、さらに時間費用と疲労費用とに分離し、こうして得られた疲労費用を混雑度の関数として表した。さらに、この関数から最適混雑料金を算出する方法を示し、それによって、最適混雑料金を算出した。ただし疲労費用を分離する際に、外生的な仮定を用いている。

一方、山崎・浅田(1999)は、通勤鉄道沿線の家賃関数を、通勤時間を変数として推定した。次に鉄道の混雑度のデータを直接利用することによって、八田(1995)のような外生的仮定を用いずに、混雑の疲労費用を算出し、それを混雑度の関数として表した。さらにこの関数を用いて八田(1995)の方式によって最適混雑料金を算出した。ただしこの論文の理論モデルの効用関数の中には、疲労に影響を及ぼす変数である混雑度が入っていない²。このため、混雑度が効用関数に入るモデルによって、その結果を解釈することが難しいし、通勤の疲労費用の等価変分を測定することもできない。

本稿では、混雑度が直接効用関数に入る元々の八田(1995)のモデルを採用することによって、混雑度と通勤時間を変数とする家賃関数を導きだし、これを山崎・浅田(1999)が用いたのと同じ混雑度データを用いて推定する。さらに、この結果に基づいて、通勤の疲労費用の等価変分と最適混雑料金を測定する。

具体的には、推定した家賃関数のパラメーターから効用関数自体のパラメーターを導出し、それをもとに、通勤の疲労費用の等価変分を計測し、疲労費用を混雑度の関数として表わす。本稿では、混雑度が直接効用関数に入るモデルを用いることによって、等価変分の計測も可能になるし、理論的に意味づけが明快な形で最適混雑料金が測定される。なお、本稿は、通勤時間と混雑率を同時に変数として含む家賃関数の推定としては最初の実証研究である。

² 山崎・浅田(1999)は、脚注で、混雑度が効用関数に含まれるモデルでもその測定結果を説明できるとしているが、それは正しくない。本稿脚注6参照。

以下、論文の構成は次のとおりである。まず、第2節で混雑率の関数である疲労度を表す関数を含んだ効用関数の説明を行い、通勤の混雑による疲労を時間に換算したモデルを提示する。第3節では、第2節で与えられた効用関数のもと、家計が効用最大化問題を行った結果導出できる単位家賃関数を具体的に計算する。第4節ではデータの特性と混雑率の定義を示し、第5節では家賃関数を推定し、第6節でこの推定された家賃関数のパラメータを使って、通勤の総費用、時間費用、疲労費用を等価変分概念を用いて具体的な金額で計算する。また第7節では、混雑率増大の限界的な疲労費用を限界代替率を用いて計算する。第8節では、この第7節で求められた限界的な疲労費用を応用し、通勤者の外部不経済効果を測定する方法を提示し、それに基づいて最適な通勤料金を各駅ごとに示す。ここで区間によって現行の通勤定期運賃に対して異なる倍率の最適な混雑料金が明示される。そして第9節で結論が述べられる。

2. モデル

郊外から都心へ延びている鉄道を考える。すべての通勤者は、都心で雇用されており、この鉄道の沿線に居住しているとする。すなわち、通勤者は、最寄駅から鉄道を利用し、都心へ通勤して所得を得、家計が予算制約にしたがって効用を最大化する。

この通勤者の効用関数を、

$$u(h, z, l) = h^\beta z^{1-\beta} l^\alpha \quad (1)$$

とする。 h は住宅の床面積、 z は住宅以外の合成財、 l は余暇時間である。余暇時間 l は、余暇の初期保有時間 δ から通勤時間 x を引いたものであるとする³。都心から通勤時間距離 x の地点に住む住民が直面している時間制約式は、

$$l = \delta - x \quad (2)$$

である。労働時間は固定されているとすると、 δ は1日に利用可能な総時間から、労働時間と睡眠や食事などの生活維持に最低限必要な時間を差し引いた時間で、すべての住民が共通の一定時間を持つとする。

(1)式の l を(2)式でおきかえると、効用関数 u は、

$$U(h, z, x) = h^\beta z^{1-\beta} (\delta - x)^\alpha \quad (3)$$

となる。

さて、この効用関数では、混雑による疲労が効用に与える効果が明示されていない。これを明示するために、混雑による疲労から回復に要する時間を(2)式の右辺からさらに差し引くと、余暇時間は次のようにかける。

$$l = \delta - (x + a) \quad (4)$$

ここで、 a は疲労調整時間である。混雑した電車に乗ると疲労回復に a 分休憩が必要であるとする。この場合 a は正である。しかしすいた電車に座って乗れ居眠りや新聞や小説を読んだりできる場合には、通勤時間は勤務時間に比べて負担が軽いため a の値は負になる。

$x + a$ を「調整済通勤時間」と呼ぶと、通勤時間が x で通勤混雑率が k のときの調整済通勤時間は、関数 $m(k) \cdot x$ で表すことができる⁴。すなわち、

³ 通勤時間 x は片道当りの時間であるため、以後の効用関数の各変数は δ に限らず、全て半日当りの値である。

$$x + a = m(k) \cdot x \quad (5)$$

である。 $m(k)$ の値を疲労乗数と呼ぶ。 $(m(k)-1) \cdot x$ に当たる時間は、 $m(k)$ が1より大きいとすれば、この疲労を回復するのに必要な休憩時間である。反対に $m(k)$ が1より小さければ、それは混雑率が低いためにリラックスすることによって得られる疲労回復時間である。 $m(k)$ 関数の形状の例としては図1のようであると想定する。いくらすいている車両であっても、 $m(k) \cdot x$ の値が限りなくゼロの値に近づくということはない。グラフでは、混雑率 k が低い時には、 m_0 で水平になっている。すなわち全員がシートにゆったりと座ったまま通勤した状態の疲労乗数は m_0 である。ただし混雑率が k_0 以上になると $m(k)$ 曲線は右上がりになる。

(4)、(5)式を(1)式に代入することによって次を得る。

$$U(h, z, x, k) = h^\beta z^{1-\beta} (\delta - m(k)x)^\alpha \quad (6)$$

このような効用関数のもとで家計は予算制約式にしたがって効用を最大化するわけである。その家計の効用最大化問題を解くことにより以下で示すような家賃関数が導出できる。

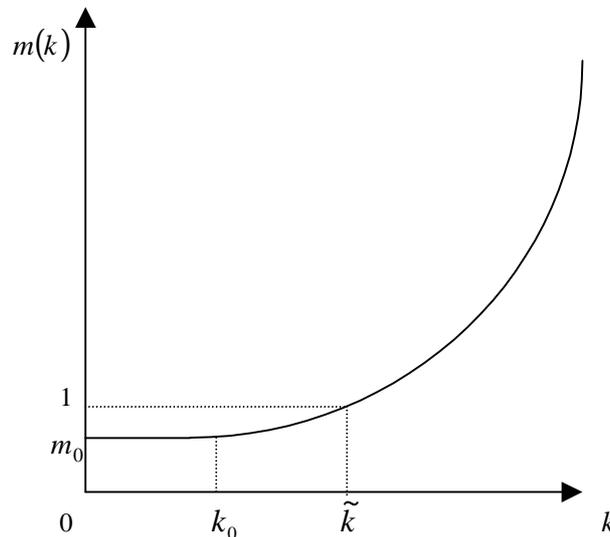


図1 $m(k)$ 関数の形状例

3. 家賃関数の導出

東京の通勤者は通勤の金銭的費用を支給され、自ら支払っていない。このため、東京の都心から離れるにつれて家賃が下がっているのは、都心から離れるにつれて通勤の時間と疲労費用が増大するためである。したがって、家賃関数を推定することにより通勤者の効用関数と $m(k)$ 関数のパラメータを明らかにすることができるとはならずである。以下では家賃関数を導出しよう。

都心からの時間距離 x の地点に住む家計は、効用を予算制約式、

$$r(x)h + z = Y \quad (7)$$

⁴関数 $m(k)$ は、混雑率 k に対し、単調増加関数であるとする。

のもとで最大化する。ただし $r(x)$ は x 地点でのレントで、 Y は所得である。合成財の価格はこのシステムのニューメレールであり、1 に等しいとする。家計の効用最大化問題は、 Y 、 x 、 $r(x)$ を所与として z 、 h を選択することにより、(7)式の予算制約のもとで、(6)式の効用を最大化することである。すなわち、

$$\begin{aligned} \max_{h,z} U(h,z,x,k) \\ \text{s.t. } r(x)h + z = Y \end{aligned}$$

によって与えられる。

予算制約のもとで家計が達成する最大効用レベルを、間接効用関数 $v(r(x), Y, x, k)$ とする。都市外での効用水準を \bar{v} とし、この都市内の住民は都市外へ居住の移動が自由であるとすると、都心からの距離にかかわらず効用水準は \bar{v} で一定となる。立地均衡で、 $r(x)$ 、 Y 、 x 、 k は、

$$v(r(x), Y, x, k) = \bar{v} \quad (8)$$

を満たさなければならない。(8)式を $r(x)$ について解くと、

$$r(x) = r^*(Y, x, k, \bar{v}) \quad (9)$$

となる。この関数 r^* が家賃関数である^{5,6}。

さて、(6)式のように効用関数は特定化されているので、(9)式で定義される家賃関数を次のように具体的に計算することができ、

$$r^*(Y, x, k, \bar{v}) = \beta(1-\beta)^{\frac{1-\beta}{\beta}} Y^{\frac{1}{\beta}} \bar{v}^{-\frac{1}{\beta}} [\delta - m(k)x]^{\frac{\alpha}{\beta}}$$

となる。また、所得 Y と効用水準 \bar{v} が一定であることを考慮して、上式の定数項をまとめて、

$$r^*(x, k) = C[\delta - m(k)x]^{\frac{\alpha}{\beta}} \quad (10)$$

とできる。ただし、 $C \equiv \beta(1-\beta)^{\frac{1-\beta}{\beta}} Y^{\frac{1}{\beta}} \bar{v}^{-\frac{1}{\beta}}$ である。

次に疲労乗数関数 $m(k)$ を特定化しよう。この関数は図1で示したような形状をしているが、データとして得られる混雑率は、 $k=1$ よりはるかに大きいため、右上がりの部分を近似した関数形を使う。 $m(k)$ 関数は増加関数であるので、これを満たすものとして、べき乗関数、

$$m(k) = \lambda \cdot k^{\sigma} \quad (11)$$

を採用する⁷。パラメータ λ は、混雑率 k が1である場合に1時間の通勤時間が何時間の調整済通勤時間になるかを示している。 σ はべき乗関数の形状を決定するパラメータである。

(11)式で特定化した $m(k)$ 関数を考慮すると、(10)式の家賃関数は、

$$r^* = C[\delta - \lambda \cdot k^{\sigma} \cdot x]^{\frac{\alpha}{\beta}} \quad (12)$$

⁵ これは都市経済学でいうところの付け値関数である。すなわち、ある一定の効用水準 \bar{v} を維持して支払える最大の床面積あたりの家賃である。

⁶ 山崎・浅田(1999)は脚注で、効用関数に直接混雑度を入れたモデルと入れないモデルは本質的に同値であると述べている。しかし、これらふたつのモデルは同値ではない。彼らのモデルで効用関数に直接混雑度を入れた場合の通勤者の効用最大化問題は、 $\max u(h, z, k) \text{ s.t. } r(x)h + z = Y - tx$ である。ただし、 tx は x 地点から都心までの金銭的交通費である。この問題を解くと間接効用関数 $v(r(x), Y - tx, k)$ が得られる。これを \bar{v} に等しいとおき、 $r(x)$ について解いた家賃関数は $r(x) = R(Y - tx, k, \bar{v})$ となり、混雑度 k が家賃関数に直接表れるはずである。しかし、彼らのモデルは、混雑度が直接効用関数に入っていないため家賃関数に混雑度が表れない。したがって推定される家賃関数が異なり、本質的にふたつのモデルは同値ではないことがわかる。

⁷ この特定化は、家田他(1989)に基づいたが、この他の関数形を用いた場合の結論の変化の比較も今後の課題となるであろう。

となる。

実際の推定にあたっては、(12)式の δ を180と置いた上で(12)式の両辺の対数を取り、右辺にさらに調整変数を加えた、

$$\log r^* = p_0 + p_1 \cdot s + p_2 \cdot \frac{1}{s} + p_3 \cdot y + \frac{\alpha}{\beta} \cdot \log [180 - (\gamma \cdot x_w + \lambda \cdot k^\sigma \cdot x)] + e \quad (13)$$

$$p_0 \equiv \log C, \quad s \equiv \text{床面積}, \quad y \equiv \text{築年数}$$

を用いる。誤差項 e は、期待値がゼロで分散が一定なi.i.dなランダム変数である。実際の単位家賃は(12)式の説明変数のほかに多くの変数の影響を受ける。特に床面積に対して単位家賃は、水回り等床面積にほとんど依存しない固定的な費用の影響で、床面積70平米辺りで最も低くなるU字型をしている。これをコントロールするために床面積とその逆数の変数が入っている⁸。 x_w は最寄駅までの徒歩の時間であり、この値は混雑率とは関係がないため、鉄道での所要時間 x とは分離した形で組み入れた⁹。また初期保有時間 δ の値であるが、NHK(1995)のアンケート調査によると、首都圏の通勤者の平日の余暇の初期保有時間は、ほぼ6時間であるという。通勤者はこの6時間を余暇と通勤に振り分けるわけである。よって6時間をモデルの設定に合わせて半日あたりに換算した3時間、つまり180分とし、外生的に与えた。

4. データの特性

以下では(13)式で特定化した家賃関数を推定しよう。この推定には、JR中央線沿線の個票家賃データを用いる。JR中央線を今回の分析対象路線とした主な理由は、中央線は高尾駅から東京駅まで乗り換えなしに直通で行くことができ、地理的にも都心から郊外へ直線的に延びている路線であり、理論モデルに当てはまるからである。また、中央線沿線の所得水準にばらつきがあまりみられないということも対象路線とした理由のひとつである。データの種類は、単位平米当たりの民営借家家賃、サンプルの立地点からJR中央線最寄駅までの徒歩での所要時間、最寄駅から東京駅までの所要時間距離、東京都民の平均所得 Y 、JR中央線の区間ごとの混雑率 k である。以下でそれぞれのデータについて説明する。

第1に家賃のデータとしては、中央線の駅が最寄駅となり、徒歩で最寄駅まで行くことのできる地点に立地している民営の賃貸マンションの家賃を採用した。家賃には管理費も含まれる。使用する家賃のデータはリクルート(1999)を用い、それを床面積で割った単位家賃を分析には使った。サンプル数は772件である。

第2に通勤時間距離 x の値は、JR中央線の快速でラッシュのピーク時の片道所要時間を時刻表より得た。表1の第1列がそのデータであり、各発駅から東京駅までの通勤区間の片道所要時間である。また今回のデータには、サンプルの立地点から最寄駅までの徒歩の時間 x_w のデータも存在する。

第3に混雑率 k のデータである。ここでは混雑率を、2つの「区間」を示すことによって定義しよう¹⁰。鉄道路線には、都心の終着駅までに、最も郊外にある始発駅を含め I 個の駅が存在する(図2参照)。都心の終着駅を0とし、郊外へ向けて都心側から順に1,2,...,Iとする。第 i 駅と第 $i-1$ 駅との区間($i=1,2,\dots,I$ であり、以下同様)を「第 i 駅区間」と呼ぶ。第 i 駅区間の混雑率 k^i は、

⁸ ここでの床面積 s は効用関数中の床面積の需要量である h とは異なったものである。すなわち s はあくまでも推定の際の調整変数に過ぎない。この調整方法は八田・赤井(1996)に詳しい。

⁹ x_w の係数は γ は、労働時間に対する通勤の徒歩の時間の比率を表す。

¹⁰ 通勤手段が鉄道の場合、混雑率を定義するにあたって特定の区間を定義する必要がある。

$$k^i = \frac{N^i}{K} \quad (14)$$

で定義される。ただし、第*i* 駅区間の車両1両当りの通過人員を N^i 人、その車両の輸送能力(定員数)を K 人とする。この駅区間混雑率の値を各路線ごとに示したのが表1の第 列である。車両1両当りの通過人数 N^i は、各路線の最混雑時間帯の値を採用している。

次に第*i* 駅から第0駅までの通勤区間を「第*i* 通勤区間」と呼ぶ。これは第*i* 駅から乗車する通勤者が乗車する駅区間をすべてつなぎ合わせた区間である。第*i* 通勤区間の混雑率は、この通勤区間に含まれるすべての駅区間ごとの混雑率を、駅区間時間をウエイトにして平均化し、通勤区間の混雑率として定義する。すなわち、

$$k_i = \sum_i \omega_i k^i \quad i = 1, 2, \dots, I \quad (15)$$

と表せる。 ω_i は駅区間時間のウエイトである。この(15)式で定義された混雑率を示したのが表1の第 列である。第 列は(15)式の定義に基づいて、各最寄駅から終着駅までの各駅区間混雑率の平均を求めた通勤区間混雑率である。これにより最寄駅を第*i* 駅とする通勤者の通勤区間の混雑率 k_i を得ることができた¹¹。

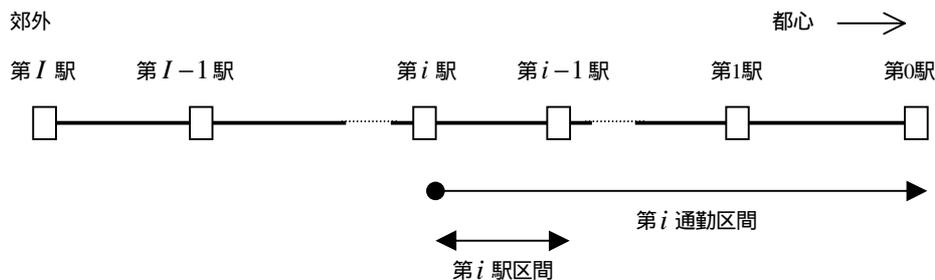


図2 駅区間と通勤区間

5. 家賃関数の推定

(13)式を非線型最小二乗法で推定した結果は以下の通りである。括弧内は t 値である。

$$\log r^* = 3.716 + 0.001 \cdot s + 8.410 \cdot \frac{1}{s} - 0.009 \cdot y \quad (16)$$

(2.11) (2.28) (15.9) (-12.9)

$$+ 0.840 \cdot \log [180 - 1.150 \cdot x_w - 0.807 \cdot k^{1.112} \cdot x]$$

(2.44) (3.50) (3.96) (4.02)

$$\bar{R}^2 = 0.78$$

(13)と(16)の比較から明らかなように、 $\alpha/\beta = 0.840$ と推定されている。(6)式で与えられた効用関数がコブダグラス型であることより、パラメータ β は、所得に占める家賃支出の割合にほかならない。この値は家計調査年報からおよそ21%である¹²。よって $\beta = 0.21$ より $\alpha = 0.176$ が求められる。また疲労乗数関数は、推

¹¹ (5)式で定義される $m(k)$ 関数は、(15)式で定義される通勤区間の混雑率の関数である。

¹² この値は、東京都での民営借家の1ヶ月あたりの平均家賃92,043円を、民営借家に居住している世帯主の1ヶ月の定期収入432,350円を除いたものである(住宅統計調査報告)。

定の結果、 $m(k)=0.807 \cdot k^{1.112}$ であり、その形状は図3に示されている。ただし、図1で定められている m_0 と k_0 は測定されていない。

この推定された $m(k)$ 関数をもとに求められる各値を示そう。まず、所要時間 x に疲労回復に必要な調整時間を加えた調整済通勤時間 $m(k) \cdot x$ を表1の第1列に示した。次に、第2列にはこの調整済通勤時間から所要時間 x を引いた $[m(k)-1]x$ の値、つまり疲労回復に必要な休憩時間を示した。これによると、かなり郊外の駅では低い値を示している。これは、遠距離になると、始発列車の本数が多く、その駅あるいは、その近辺の駅の利用者は十分座席に座れる可能性があるため疲労回復に必要な休憩時間はそれほど必要でないということを表しているためである。しかし、それより東京寄りの区間であれば、座席に座れる望みはなく、かつ終着駅まではまだまだ距離があるという状況であるため、非常に疲労度が高く、その結果、疲労回復に必要な時間も多く算出されている。そして、さらに都心に近づくると休憩時間が低下しているが、これは乗車時間がかなり短くなることによる。

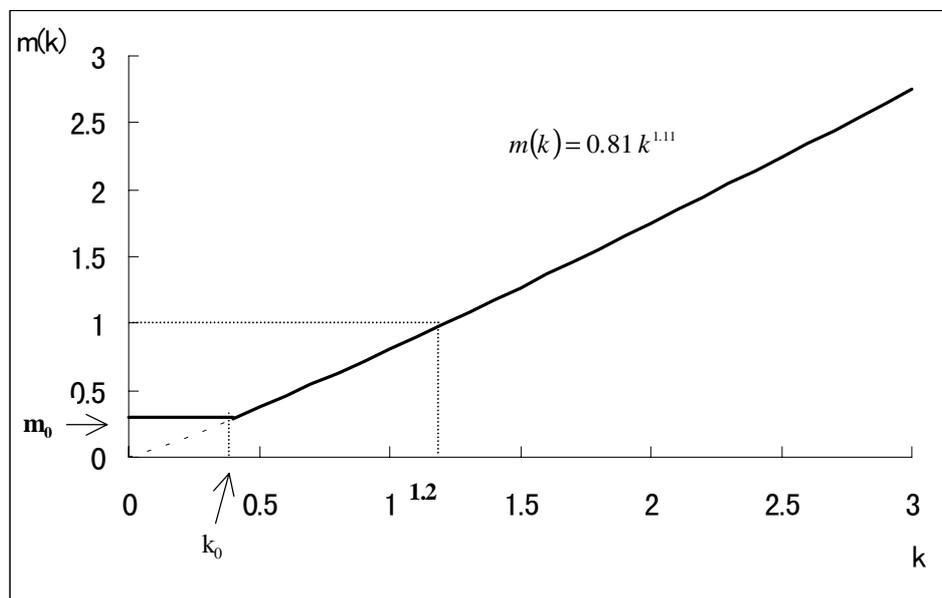


図3 推定された $m(k)$ 関数

6. 通勤の時間費用と疲労費用はいくらか？

疲労乗数関数 $m(k)$ と家賃関数の推定により、効用関数の各パラメータが明らかになったので、通勤の時間費用と疲労費用の分析が等価変分概念を用いて分析できる。以下では等価変分によって通勤の総費用を求める。さらにそれを通勤の時間費用と疲労費用に分解する。ここでは家賃の変化が起こらない短期を想定する。

まず通勤の総費用である。通勤時間 x に疲労乗数 $m(k)$ をかけた調整済通勤時間が表1の第1列であった。仮にこの調整済通勤時間がゼロとなる場合を考える。つまり、通勤の時間費用も疲労費用もなくなった場合である。この時、通勤者の効用は上昇する。その上昇分を相殺する所得 Y の変化分¹³が、通勤の総費用を表す等価変分である。以下でこの等価変分を式で表す。

¹³ ここでの計算に使った半日あたりの所得 Y の値は次のように定めた。まず1997年の東京との勤労者世帯の世帯主一人あたりの定期収入、432,350円を、ひと月に22日通勤するとして、それを半日当りに換算する。つまり、432,350円を44で割った9,826円である。

仮にある地点からの通勤が不必要になった ($x=0$ となった) とすると、その地点の効用は上昇する。今、家賃は変化しないとして、上昇した効用水準を、前の通勤があった状態で達成するのに必要な所得の増分を c で表すとすれば、(9)式の家賃関数の式を用いて、

$$r^*(Y, x, k, \bar{v}) = r^*(Y' - c, x, k, \bar{v}) \quad (17)$$

と表すことができる。右辺の c は、通勤がなくなった場合に上昇した効用水準を、通勤がある状態を得るのに必要な所得 Y' から、 x 地点における与えられた家賃のもとで、この効用の上昇分を相殺する所得の減少分である。これを解くと $c = c(x)$ が得られる。この c の大きさが、通勤の総費用を表す等価変分だと解釈できる。よって通勤の総費用を次のように定義する。

定義 1

地点 x における通勤の総費用とは、通勤時間 x がゼロとなった場合に、この地点における与えられた家賃のもとで効用の上昇分を相殺する所得 Y の変化分、 $c(x)$ のことである。

次に通勤の疲労費用を求める。 $m(\tilde{k})=1$ が成り立つ混雑率 \tilde{k} (図1参照)のもとでは、混雑による疲労がなくなる。すなわち第 1 列の調整済通勤時間は第 2 列の通勤区間時間に等しくなる。混雑率を \tilde{k} にすると、疲労がなくなった結果、 x 地点における与えられた家賃のもとでの効用は上昇する。その上昇分を相殺する所得 Y の変化分を通勤の疲労費用を表す等価変分とする。この所得 Y の変化分を c_f とすると、

$$r^*(Y, x, k, \bar{v}) = r^*(Y'' - c_f, x, k, \bar{v}) \quad (18)$$

が成り立つ。 Y'' は、 $k = \tilde{k}$ の時の上昇した効用水準を変化前の混雑率の水準 k の時に達成するのに必要な所得である。これを解くと $c_f = c_f(x)$ が得られる。この $c_f(x)$ は通勤の疲労費用を表す等価変分に他ならない。したがって $c_f(x)$ が x 地点における混雑による通勤の疲労費用である。

定義 2

地点 x における通勤の混雑疲労費用は、通勤時の混雑率を、疲労乗数 $m(k)$ を 1 にする混雑率 \tilde{k} に下げた場合にこの地点における与えられた家賃のもとで効用の上昇分を相殺する所得 Y の変化分であり、(18)の解 $c_f(x)$ に等しい。

最後に、通勤の時間費用を定義する。通勤の時間費用は、定義 1 で定められた通勤の総費用から定義 2 で定められた疲労費用を引いた値であると定義できる。よって時間費用 c_t を定義すると、

定義 3

地点 x における通勤の時間費用 $c_t(x)$ は、通勤の総費用から疲労費用を引いたもの、すなわち $c(x) - c_f(x)$ で求められる値である。

となる。

以上の各費用を各線ごとに計算し、表 1 の第 1 列から第 4 列に示した。まず、第 2 列に定義 2 で定められた通勤の疲労費用が示されている。これは第 2 列の通勤の疲労に必要な休憩時間の金銭換算と考えられる。第 3 列に通勤の総費用、第 4 列に第 2 列の総費用から第 2 列の疲労費用を引いた通勤の時間費用が示されている。三鷹駅で疲労費用が下がるのは、複々線区間となり、三鷹始発の列車本数が急激に増えることが反映されている。また疲労費用が総費用に占める割合を第 4 列に示した。これによると、通勤の疲労費用は総費用のうちの 5% ~ 29% であることがわかる。

表1 データと各費用

	x	駅区間 混雑率	通勤 区間 混雑率	m(k)・x (分)	[m(k)-1]x 休憩時間 (分)	疲労費用 (円)	総費用 (円)	時間費用 (円)	疲労費用割合 (%)
最寄駅									
中野	16	1.367	1.367	18.3	2.3	28.8	223.4	194.5	12.9
高円寺	20	1.369	1.368	22.9	2.9	37.3	284.3	247.0	13.1
阿佐ヶ谷	22	1.273	1.351	24.8	2.8	36.9	310.7	273.7	11.9
荻窪	24	1.207	1.32	26.4	2.4	31.5	332.3	300.7	9.5
西荻窪	26	1.164	1.301	28.1	2.1	28.4	356.6	328.2	8.0
吉祥寺	29	1.121	1.281	30.8	1.8	24.9	395.1	370.2	6.3
三鷹	31	1.175	1.266	32.5	1.5	21.0	419.7	398.7	5.0
武蔵境	35	2.279	1.393	40.8	5.8	84.9	545.2	460.4	15.6
東小金井	38	2.123	1.474	47.2	9.2	139.0	647.8	508.8	21.5
武蔵小金井	40	1.987	1.509	51.0	11.0	170.1	711.8	541.7	23.9
国分寺	44	1.917	1.559	58.2	14.2	229.4	839.1	609.7	27.3
西国分寺	48	1.647	1.568	63.8	15.8	267.5	946.8	679.3	28.3
国立	50	1.563	1.568	66.5	16.5	284.3	999.4	715.1	28.4
立川	54	1.348	1.548	70.8	16.8	300.0	1,087.6	787.6	27.6
日野	58	1.109	1.51	74.0	16.0	294.1	1,155.4	861.3	25.5
豊田	61	1.04	1.482	76.2	15.2	286.3	1,204.4	918.1	23.8
八王子	65	0.89	1.438	78.5	13.5	261.7	1,256.9	995.2	20.8
西八王子	70	0.792	1.394	81.7	11.7	234.8	1,331.0	1,096.2	17.6
高尾	73	0.497	1.35	82.2	9.2	187.6	1,343.3	1,155.7	14.0

7. 混雑率増大の限界費用

第6節では混雑による疲労費用を算出したが、次に混雑率増大による限界費用を算出する。第7節で効用関数の各パラメータ、ならびに $m(k)$ 関数が推定されたので、中央線での朝のラッシュ時の通勤の疲労費用を合成財で換算したものを測定できる。疲労費用を合成財で評価したものは、 k の z に対する限界代替率 MRS_F として、

$$MRS_F(h, z, x, k) = \frac{U_k(h, z, x, k)}{U_z(h, z, x, k)} \quad (19)$$

となる¹⁴。ただし、 U_z U_k は、効用関数 $U(h, z, x, k)$ の z 、 k に対する限界効用である。すると、合成財の価格は1であることより、上記(19)式の限界代替率は限界的な疲労の費用を円で評価したものとなる。すなわち、(19)式は混雑率1単位（ここでは1%）あたりの費用が円換算されたものである。

さらに本論文では、コブ-ダグラス型の効用関数を用いているため、床面積 h と合成財 z の需要量は所得水準 Y の関数となる。すなわち $h = h(Y)$ 、 $z = z(Y)$ と書ける。このことより、(19)式の限界代替率は混雑率 k と時間距離 x のみの関数で表せる。これを疲労費用関数 $f(k, x)$ として、

$$f(k, x) \equiv MRS_F(h(Y), z(Y), x, k) \quad (20)$$

と定義する。なお、 Y は一定なので疲労費用関数 $f(\cdot)$ では変数として扱わない。

さて、(6)式から、 z 、 k に対する限界効用は、

$$U_z = (1 - \beta) h^\beta z^{-\beta} (\delta - m(k)x)^\alpha \quad (21)$$

$$U_k = -\alpha (\delta - m(k)x)^{\alpha-1} h^\beta z^{-\beta} m'(k)x \quad (22)$$

となる。ただし、 $m'(k) = dm(k)/dk$ である。これらを使って(20)式を導出すると、

$$f(k, x) = \alpha Y \frac{m'(k)x}{(\delta - m(k)x)} \quad (23)$$

となる。(23)式に(16)式の推定結果で得られたパラメータ群の値を代入することにより、限界疲労費用の具体的な値が各最寄駅ごとに得られる。それらを表にしたものが表2の第 列である。 $f(k_i, x)$ は、各駅から通勤する通勤者の、混雑率増分1%当たりの費用を金銭換算したものである¹⁵。

8. 通勤の外部不経済効果の測定

上の推定で(19)式の混雑率増大の限界疲労費用が求められた。これを使って通勤の外部不経済効果を測定し、それを金銭換算する。この外部不経済が測定できれば、ラッシュ時の通勤の最適な混雑料金を求められる。最適な混雑料金の測定がこの節の目的である。

まず外部不経済効果を導出する。ここで外部不経済とは、混雑した列車に通勤者が1人増えることによって、その車両の他の通勤者すべての疲労を増加させることである。よって外部不経済費用は、発生した通過人員全員の疲労費用の増分を総計したものである。

ある駅から追加的な通勤者が1人乗るとする。追加的な通勤者は、自分が乗ることによってその駅区間での混雑率を上昇させ、この混雑率の上昇を通じて他の通勤者の疲労費用を上昇させる。この通勤者が乗り続ける駅区間全ての乗客の疲労費用の上昇を合計したものが追加的な通勤者が及ぼす外部不経済効果の大きさである。

疲労費用関数から、追加的な通勤者が引き起こす外部不経済効果を導出する方法を、駅区間が複数である一般的な場合について補論に示す。ここでは、全通勤区間が一駅区間のみである場合について図4を用いて例示しよう。駅区間がひとつであるため、駅区間混雑率と通勤区間混雑率は同じものであるが、説明の便宜上区別しておくとして、まず、駅区間混雑率を k 、その平均である通勤区間混雑率を $k_1(k)$ 、この区間の通過人数を N 、通勤時間を x であるとする。通勤者の1%当りの疲労費用は、(23)式より関数 $f(k_1(k), x)$ である。

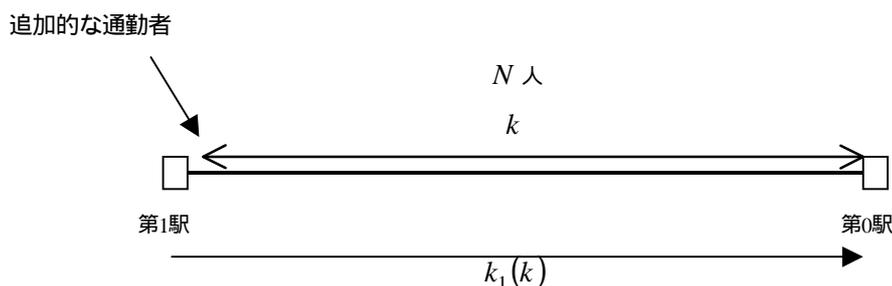


図4 第1駅からの通勤者の外部不経済

一方この駅区間で通過人員が1人増えることによって起きる駅区間混雑率 k の増分は、(14)式より、

¹⁴ 限界代替率を導入するにあたっての効用関数が満たすべき性質、連続性、単調増加性、強い意味の擬凹性、連続2回微分可能性は仮定されているとする。

¹⁵ 混雑率 k を%表示で表しても、(23)式の値は変化しない。よって、(23)式の解釈の際に限界的な混雑率の変化を1%としても問題はない。

$$\frac{dk}{dN} = \frac{1}{K} \quad (24)$$

である。そしてさらにこの駅区間混雑率 k が、通勤区間混雑率 k_1 に与える影響は、

$$\frac{dk_1(k)}{dk} \quad (25)$$

である。

次に、外部不経済の総計の方法である。駅区間での通勤者 1 人の増加が駅区間混雑率を経て通勤区間混雑率に与える影響は、(24)、(25)式を考慮して、

$$\frac{dk_1(k)}{dN} = \frac{dk_1(k)}{dk} \frac{dk}{dN} = \frac{dk_1(k)}{dk} \frac{1}{K} \quad (26)$$

で定められる。第1駅から乗車する通勤者が 1 人増えた場合、この駅区間には $f(k_1(k), x)$ の疲労費用関数を持つ N 人の通勤者が移動中である。よってこの第1駅からの追加的な通勤者が及ぼす外部不経済効果 E は、(26)式より、

$$E = N \cdot f(k_1(k), x) \cdot \frac{dk_1(k)}{dk} \frac{dk}{dN} \quad (27)$$

と表せる。つまり、追加的な通勤者が 1 人増えたことによる疲労費用関数 $f(\cdot)$ への影響を人数分たしたのである。この考え方は、駅区間が複数ある場合にも同様に拡張できる。そうして求めた混雑料金が表 2 の第 1 列である。これによると、通勤区間ごとに異なるが、現行通勤定期の片道当たり料金（表 2 第 2 列）の 1～3 倍の高い料金設定が必要であることがわかる。

表 2 通勤の限界疲労費用と最適混雑料金

	x (分)	限界疲労費用 $f(k, x)$ (円)	定期料金 (円)	混雑料金 (円)	倍率
最寄駅					
中野	16	160	115	110	0.96
高円寺	20	206	161	160	0.99
阿佐ヶ谷	22	229	161	210	1.3
荻窪	24	252	161	250	1.55
西荻窪	26	276	207	300	1.45
吉祥寺	29	313	207	340	1.64
三鷹	31	338	207	400	1.93
武蔵境	35	410	247	480	1.94
東小金井	38	472	247	590	2.39
武蔵小金井	40	513	247	670	2.71
国分寺	44	604	293	770	2.63
西国分寺	48	692	293	830	2.83
国立	50	739	293	890	3.04
立川	54	830	338	970	2.87
日野	58	916	378	1,060	2.8
豊田	61	983	378	1,100	2.91
八王子	65	1,071	424	1,180	2.78
西八王子	70	1,183	424	1,230	2.9
高尾	73	1,238	487	1,260	2.59

* 運賃は片道料金で表示してある。定期運賃は6ヶ月定期を片道当りに換算したものである。

* 上記通常運賃と定期運賃は全て1998年12月現在のものである。

山崎・浅田(1999)によれば彼らの料金設定は現行定期運賃の2.3～5倍であり、また八田(1995)は最低でも3倍以上という結論を出している。本稿の算出結果、1～3倍は、2論文の結論と比べてみても整合的であると言えるであろう。

9. 結論

本稿では、通勤の疲労を時間に換算し、それを含んだ家賃関数を導出し推定した。それにより通勤の疲労が具体的な混雑率の関数として求められ、混雑による時間費用、疲労費用が等価変分概念を用いて分析でき、混雑の疲労費用が通勤の総費用の5%～29%を占めていることがわかった。

混雑解消の手段である混雑料金設定の議論は理論的には単純である。ところが、実際、混雑の程度は場所と時間によって異なっている。また混雑外部性の利用者は、混雑の外部不経済の被害者であると同時に加害者である。このため実際の混雑料金はそれほど簡単には求められなかった。しかし、本稿の外部不経済の測定方法では、混雑率増大の限界的な費用を限界代替率を使って求め、それを利用して通勤者1人が及ぼす外部不経済を各駅区間ごとに全て求めることができ、最終的に混雑料金を現行定期運賃のほぼ1～3倍の間に設定する必要があるという結論を得た。もちろん、ここで求めた混雑料金は、混雑率が通勤ラッシュのピーク時のものであるため、料金もピーク時にかけられる料金である。

補論：複数の駅区間における外部不経済効果の算出方法

ここでは、理解しやすいように始発駅と終着駅の間に駅が一つしかなく、駅区間が2つの場合を考える(図5)。第2駅区間の混雑率が k^2 、第1駅区間の混雑率が k^1 であるとする。

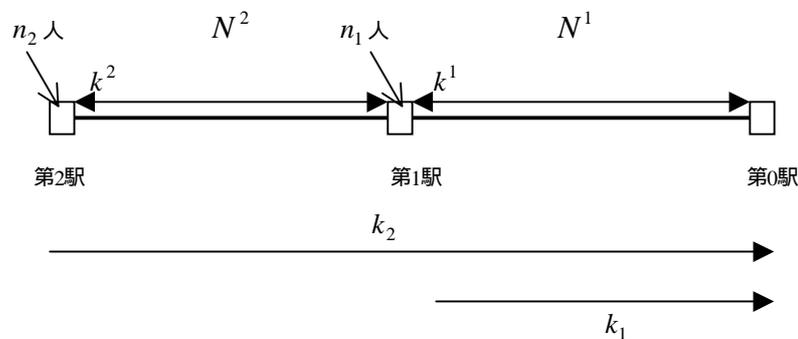


図5 2駅区間の場合

通勤者の1%当りの疲労費用は、(24)式で与えられた関数 $f(k, x)$ であった。

一方、各駅区間で通過人員が1人増えることによって起きる混雑率 k^i の増分は、(14)式より、

$$\frac{dk^i}{dN^i} = \frac{1}{K} \quad i = 1, 2 \quad (28)$$

である。そしてさらにこの駅区間混雑率が、通勤区間混雑率に与える影響は、それぞれ、

$$\frac{\partial k_2(k^1, k^2)}{\partial k^i} \text{ または、 } \frac{dk_1(k^1)}{dk^i} \quad i = 1, 2 \quad (29)$$

である。

次に、外部不経済の総計の方法である。各通勤区間混雑率は(15)式で定義されているため、駅区間での通勤者一人の増加が駅区間混雑率を経て通勤区間混雑率に与える影響は、(28)、(29)式を考慮して、それぞれ、

$$\frac{dk_2(k^1, k^2)}{dN^i} = \frac{\partial k_2(k^1, k^2)}{\partial k^i} \frac{dk^i}{dN^i} = \frac{\partial k_2(k^1, k^2)}{\partial k^i} \frac{1}{K} \quad i = 1, 2 \quad (30)$$

$$\frac{dk_1(k^1)}{dN^1} = \frac{dk_1(k^1)}{dk^1} \frac{dk^1}{dN^1} = \frac{dk_1(k^1)}{dk^1} \frac{1}{K} \quad (31)$$

で定められる。

また第*i* 駅から乗車した通勤者の数を n_i 、各駅から終着駅までの各通勤区間の所要時間をそれぞれ x_1, x_2 とすると、第*i* 駅から乗車した n_i 人の疲労費用関数は、 $f(k_i, x_i)$ ($i = 1, 2$) である。

さて今仮に第1駅から乗車する通勤者が1人増えた場合(図6)、この追加的な通勤者が外部不経済を及ぼす駅区間は第1駅区間である。この駅区間には $f(k_2(k^1, k^2), x_2)$ という疲労費用関数を持つ n_2 人の通勤者と、 $f(k_1(k^1), x_1)$ の疲労費用関数を持つ n_1 人の通勤者が移動中である。よってこの第1駅からの追加的な通勤者が及ぼす外部不経済効果は、これを E_1 とすると(30)、(31)式より、

$$E_1 = n_2 \cdot f(k_2(k^1, k^2), x_2) \cdot \frac{\partial k_2(k^1, k^2)}{\partial k^1} \frac{dk^1}{dN^1} + n_1 \cdot f(k_1(k^1), x_1) \cdot \frac{dk_1(k^1)}{dk^1} \frac{dk^1}{dN^1} \quad (32)$$

と表せる。右辺第1項は、第1駅区間で通過人員が追加的に増えたときに駅区間混雑率を通じて第2駅からの通勤者の疲労費用関数に与える大きさを総計したものである。また同様に右辺第2項は、第1駅区間で通過人員が追加的に増えたときに第1駅からの通勤者の疲労費用関数に与える大きさの総計を表している。つまり E_1 は、第1駅からの通勤者一人が、その車両に乗り込むことによって他の乗客に与えている迷惑の大きさを合計したものである。

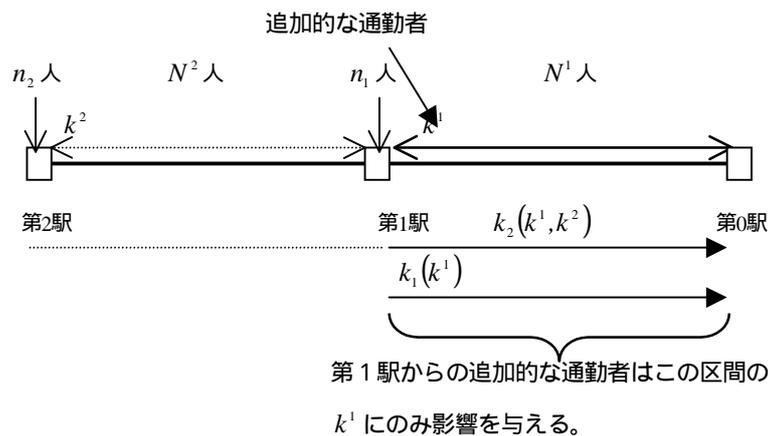


図6 第1駅からの通勤者の外部不経済

次に、第2駅からの通勤者について同様に調べる。第2駅からの通勤者が1人増えたとして(図7)。するとまず、第2駅区間で通勤者が1人増える。この駅区間には、疲労費用関数 $f(k_2, x_2)$ をもつ n_2 人の通勤者が乗車している。よって、この第2駅区間で追加的な通勤者が及ぼす外部不経済効果は、これを E^2 とすると、(30)式より、

$$E^2 = n_2 \cdot f(k_2(k^1, k^2), x_2) \cdot \frac{\partial k_2(k^1, k^2)}{\partial k^2} \frac{dk^2}{dN^2} \quad (33)$$

で表せる。次にこの列車は、第1駅で n_1 人の乗客を乗せる。すると、第2駅から乗ったこの追加的な通勤者は、第1駅区間では第2駅からすでに乗車している $f(k_2, x_2)$ の疲労費用関数を持つ n_2 人の通勤者と、さらに第1駅から乗りこんだ $f(k_1, x_1)$ の疲労費用関数を持つ n_1 人の通勤者にも外部不経済を及ぼすことになる。これらの外部不経済効果を E^1 とすると、(30)、(31)式より、

$$E^1 = n_2 \cdot f(k_2(k^1, k^2), x_2) \cdot \frac{\partial k_2(k^1, k^2)}{\partial k^1} \frac{dk^1}{dN^1} + n_1 \cdot f(k_1(k^1), x_1) \cdot \frac{dk_1(k^1)}{dk^1} \frac{dk^1}{dN^1} \quad (34)$$

である。これは(27)式とまったく同じ式である。これは当然のことで、追加的な通勤者の乗車駅に関係なく、第1区間での追加的な乗客の存在のみが迷惑になっているからである。よって、(33)式と(34)式の和が、第2駅からの追加的な通勤者が通勤時に及ぼす外部不経済効果の総和であり、それを E_2 とすれば、

$$\begin{aligned} E_2 &= E^1 + E^2 \\ &= n_2 \cdot f(k_2(k^1, k^2), x_2) \cdot \frac{\partial k_2(k^1, k^2)}{\partial k^1} \frac{dk^1}{dN^1} + n_1 \cdot f(k_1(k^1), x_1) \cdot \frac{dk_1(k^1)}{dk^1} \frac{dk^1}{dN^1} \\ &\quad + n_2 \cdot f(k_2(k^1, k^2), x_2) \cdot \frac{\partial k_2(k^1, k^2)}{\partial k^2} \frac{dk^2}{dN^2} \end{aligned} \quad (35)$$

となる。

さて、以上で求めた E_1 、 E_2 の値を、限界運営費用をゼロと仮定し、各駅から第0駅までの運賃として設定することにより、「適正な」混雑度を達成する混雑料金水準が得られたことになる。この2駅区間での方法がそのまま I 駅に拡張できる。第 i 駅からの追加的な通勤者の外部不経済効果、つまり第 i 駅から第0駅までの混雑料金 E_i は、

$$\begin{aligned} E_i &= E_{i-1} + \sum_{j=i}^I n_j \cdot f(k_j(k^1, \dots, k^j), x_j) \cdot \frac{\partial k_j(k^1, \dots, k^j)}{\partial k^i} \frac{dk^i}{dN^i}, \\ E_0 &= 0 \quad (i=1, 2, \dots, I) \end{aligned} \quad (36)$$

である。(36)式に基づき今回のJR中央線の各駅から東京駅までの混雑料金を導出した。

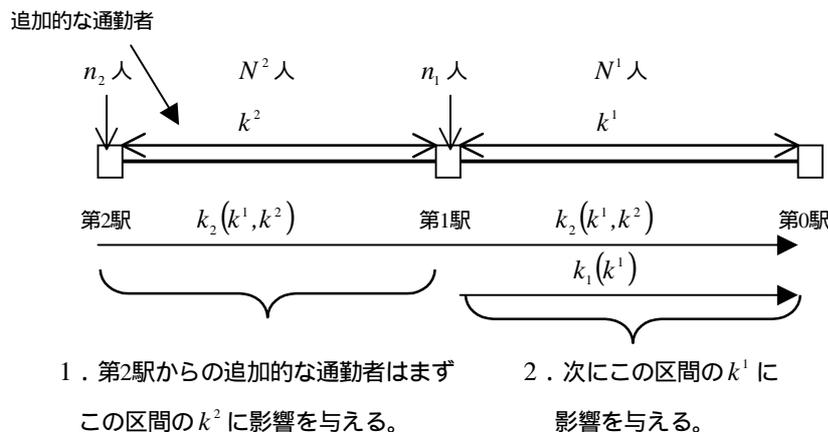


図7 第2駅からの通勤者の外部不経済

参考文献

- 家田仁、赤松隆、高木淳、畠中秀人,(1988),「利用者均衡配分法による通勤列車運行計画の利用者便益評価」,
土木計画学研究・論文集6
- 家田仁、志田州弘、古川敦、赤松隆,(1989),「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・論文集12
- 八田達夫(1995),「東京の過密通勤対策」,八田達夫、八代尚弘編『東京問題の経済学』第2章,
東京大学出版会
- 八田達夫・赤井伸郎(1996),「借地借家法は、賃貸住宅供給を抑制していないのか?」『住宅問題研究』
- 福地崇生(1976),「東京の郊外人口分布と通勤問題」、『季刊理論経済学』、27巻
- 山崎福寿・浅田義久(1999),「鉄道の混雑から発生する社会的費用の計測と最適運賃について」、『住宅土地
経済』,VOL.34.
- 株式会社リクルート(1999),『ISIZE住宅情報(<http://www.isize.com>)』
- (財)運輸政策研究センター(1997)『平成7年度大都市交通センサス(首都圏版)』
- (財)運輸政策研究センター(1999)『平成10年版都市交通年報』
- NHK国民生活時間調査『日本人の生活時間・1995』,NHK出版
- 弘済出版社『東京時刻表』1999年4月号
- Hatta, T. and Ohkawara, T. (1994), “ Housing and the Journey to Work in the Tokyo Metropolitan Area, ” in Yukio Noguchi
and James M. Poterb ed. *Housing Markets in the United States and Japan*, University of Chicago Press, pp. 87-131.