



RIETI Discussion Paper Series 06-J-011

通勤の疲労費用の効用関数を特定しない測定

八田 達夫
経済産業研究所

山鹿 久木
筑波大学



Research Institute of Economy, Trade & Industry, IAA

独立行政法人経済産業研究所
<http://www.rieti.go.jp/jp/>

通勤の疲労費用の効用関数を特定しない測定

八田達夫・山鹿久木

2006年3月7日

要 旨

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を引き起こす。本稿は、この外部不経済効果の金銭換算を効用関数の特定化に依存しない方法で行う。

山鹿・八田(2000)では、JR中央線を対象に、沿線通勤者の時間・疲労費用を金銭換算している。すなわち、通勤者は混雑した鉄道での通勤によって生じる疲労を回復するために、一定の時間（休憩時間）が必要であると仮定することにより、疲労という非金銭的費用を時間に換算した。そして、その疲労を含めた通勤時間を、特定化した効用関数に組み入れ、その効用関数から導かれる家賃関数（ヘドニック価格関数）をJR中央線沿線の賃貸マンションの賃貸料のデータを用いて推定することによって、疲労を示す変数が組みこまれた効用関数の各パラメータを推定した。具体的には、山鹿・八田（2000）では、効用関数をコブ＝ダグラス型と特定し、通勤の疲労コストを測定した。

本稿の分析の枠組みは、山鹿・八田（2000）を発展させたものだが、分析において重要な位置を占める賃料関数を対数線形近似して測定し、こうして求めた家賃関数を混雑率で偏微分したものとして混雑増加の疲労費用を測定した。効用関数を特定化していない分、それだけ一般的な効用関数に対応した疲労コストの計測を行っている。この計測結果を利用して通勤者1人が及ぼす外部不経済を駅区間ごとに求めることができる。その結果、通勤ラッシュのピーク時のJR中央線では、通勤ラッシュ時には現行の通勤定期料金の0.7から2.94倍の料金設定にする必要があるという結論を得ることができた。

1. はじめに

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を引き起こす。本稿は、この外部不経済効果の金銭換算を効用関数の特定化に依存しない方法で行う。

この外部不経済にあたる通勤混雑の疲労の費用の測定にはいくつかの先行文献がある。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カロリー費用で計測した。つまり「混雑による異常カロリー消費量」というものを、カロリーの混雑時消費量と平常時消費量との差で定義して、これを金銭換算する。そしてこれを全ての通勤者について合計したものを通勤混雑費用としている。ここで1日の労働に必要なカロリー量を、事務作業を行った場合のカロリー量を用いて時間換算、さらにそれを賃金率によって金銭換算している。

家田他(1988)や志田他(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のかを実際に観測し、その回避のために実際に費やした通勤時間の延着時間を賃金によって金銭換算し、これを疲労の費用とした。

一方、通勤に関する金銭的費用が、日本においては会社から支給されているにもかかわらず、都心から離れるにしたがって地価や家賃が下がっているという点に着目し、このことは、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や家賃に反映されているからであるとし、地価や家賃の分布から通勤の時間や疲労費用を算出している先行研究がいくつかある。

Hatta and Ohkawara(1994)では、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。八田(1995)は、効用関数に混雑度が入る理論モデルを用いて、この測定値をさらに、時間と疲労の費用に分離した。山崎・浅田(1999)は、各通勤鉄道ごとの混雑度のデータを利用し、各線沿線の家賃を、通勤時間と混雑度を変数とする家賃関数を推定し、そのパラメータを用いて混雑の金銭価値を求めた。

また、山鹿・八田(2000)では、JR中央線を対象に、沿線通勤者の時間・疲労費用を金銭換算している。彼らはまず、通勤者は混雑した鉄道での通勤によって生じる疲労を回復するために、一定の時間(休憩時間)が必要であると仮定することにより、疲労という非金銭的費用を時間に換算した。そして、その疲労を含めた通勤時間を、特定化した効用関数に組み入れ、その効用関数から導かれる家賃関数(ヘドニック価格関数)をJR中央線沿線の賃貸マンションの賃貸料のデータを用いて推定することによって、疲労を示す変数が組みこまれた効用関数の各パラメータを推

定した。そして、通勤の疲労がある場合とない場合の効用の変化分を計算して、等価変分の定義を適応することにより通勤の時間と疲労費用を求めた。具体的には、山鹿・八田（2000）では、効用関数をコブ＝ダグラス型と特定し、通勤の疲労コストを測定した。

本稿では、分析の枠組みは、山鹿・八田（2000）を発展させたものだが、効用関数を特定化せずに、賃料関数を対数線形近似することにより、疲労コストを計測した。それだけ一般的な効用関数に対応した疲労コストの計測を行っている。

以下、本稿の構成は次のようである。第2節では、理論モデルに基づき、混雑率が直接入った効用関数から、家賃関数を導出する。第3節では、その導かれた家賃関数を推定し、その推定結果から通勤混雑の限界費用を計測する。第4節ではこの通勤混雑の限界費用を計算し、第5節では、この通勤混雑の限界費用を用いて、通勤の外部不経済である最適な混雑料金を導く。そして第6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。すなわち、通勤者は、最寄り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、

$$u = u(q, l, k, z) \quad (1)$$

とする。 q は床面積や築年数などのような住宅の質を表す変数、 l は余暇時間、 k は通勤時に利用する鉄道の混雑率、 z は住宅以外の合成財である。効用関数 u は、 l 、 z に関しては増加関数であり、 k に関しては減少関数である。通勤時間 x は片道当たりの時間であるため、以後の効用関数内の各変数は l に限らず、すべて半日当たりの値である。住宅の質 q については、床面積などの質に関しては増加関数であるが、築年数などの質に関しては減少関数である。

代表的世帯の所得を y 、非労働時間を δ 、都心までの通勤時間を x 、居住のために支払っている家賃を r とすると、(1)式は次のように書き直せて、

$$u = u(q, \delta - x, k, y - r) \quad (2)$$

となる。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。

ここで、家計は、都市内外のいかなる地点にも費用なしに移住できると想定する。

この想定をするモデルを開放都市モデルという。この想定のもとでは、均衡において全ての家計の効用水準は同じになるため、任意の q , x , k について、ある効用水準 u^* が与えられると、

$$u(q, \delta - x, k, y - r^*(q, x, k)) = u^* \quad (3)$$

となる¹。ただし $r^*(q, x, k)$ は均衡家賃関数である。山鹿・八田(2000)では、(3)式の効用関数をコブ-ダグラス型に特定化し、理論モデル上で均衡家賃関数 $r^*(q, x, k)$ を導き、それを直接非線形最小2乗法で推定している。ここでは、家賃関数 $r^*(q, x, k)$ を対数線形に特定化し、均衡家賃関数 $r^*(q, x, k)$ の推定を行い、 q , x , k が東京都の中央線沿線の家賃分布にどのような影響を与えているのかを検証する。

3. 家賃関数の推定

本節では家賃関数 $r^*(q, x, k)$ を対数線形に特定して推定する。この関数型は特定の効用関数に依存しないが、一般的な効用関数から導かれる家賃関数を特定したものだと見なすことが出来る。特定しなくても、この家賃関数の係数から、混雑率と一般消費財の限界代替率、——すなわち混雑の金銭価値——の測定を行う。この推定には、JR 中央線沿線の個票家賃データを用いる。分析対象路線は JR 中央線の東京—高尾間である。JR 中央線を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伸びている路線であり、理論モデルの仮定に当てはまるからである。

1 データ

推定する家賃関数の被説明変数である賃貸物件の家賃のマイクロデータは、リクルート(2003)より 2003 年 3 月に採取したものをを用いている。このデータはインターネットのホームページに掲載されており、データ情報は随時更新されている。今回の対象物件は、東京都に立地しており、最寄り駅が JR 中央線の中野駅から高尾駅のどれかである民営の賃貸住宅で、マンション（耐火構造でできた共同住宅）として掲載されている物件である。サンプル数は 8979 件である。

家賃に影響を与えると考えられる説明変数として、住宅の質 q , 都心までの時間距離 x , 通勤混雑率 k に対応するデータを集める。リクルート(2003)から得られるデータとしては、物件の最寄り駅までの徒歩の時間、最寄り駅までバスを利用する必

¹ 山鹿・八田(2000)では、効用関数をコブ-ダグラス型に特定化している。これについては、付論 1 を参照されたい。

要があれば 1, 必要なければ 0 をとるダミー変数, 最寄り駅が中央線の始発駅であれば 1, そうでなければ 0 をとるダミー変数², また吉祥寺周辺の家賃が高い傾向にあるため、その影響をコントロールするため、最寄り駅が吉祥寺であれば 1 を, そうでなければ 0 をとる吉祥寺ダミー変数, 床面積, 築年数, そして所属地方自治体のダミー変数を採用した。これらは家賃に影響を与える物件の質や立地環境を表す特性ベクトル q と解釈できる。

リクルート(2003)では得られないデータとして、東京駅までの時間距離 x と通勤区間の混雑率 k のデータがある。時間距離 x は、各物件の中央線の最寄り駅から東京駅までの所要時間(乗車時間と乗換え時間の合計)をヴァル研究所『駅すばあと』(2003)で測定したものを、通勤時間としてデータベースに加えた。

次に通勤区間における混雑率 k のデータである。通勤区間の混雑率 k を求めるために、まず各駅区間の混雑率を求める。駅区間 i の混雑率を k^i とすると、 k^i は、

$$k^i = \frac{N^i}{K} \quad (4)$$

と定義される。ただし N^i は駅区間 i の通過人員数, K は、輸送能力(定員数)である。この(5)式の値を、大都市交通センサス(1995, 2000)と都市交通年報(2003)をもとに計算する。このようにして求められた各駅区間混雑率 k^i から、通勤区間混雑率 k を k^i の平均値として求めた。この時間距離 x と通勤区間混雑率 k を説明変数として加えた。

以上の変数を、近接性に関する属性変数, 建物構造に関する属性変数, 周辺環境に関する属性変数に分類してまとめたものが表 1 である。またこれらの変数の平均値を表 2 に報告している。

2 家賃関数の特定化と推定結果

家賃関数 $r^*(q, x, k)$ を対数線形で特定化し、最小 2 乗法により推定を行った。推定結果は表 3 で報告している。

表 3 によると、家賃の最寄り駅までの徒歩時間に対する弾力性と築年数に対する弾力性はそれぞれ -0.042 と -0.050 であった。また床面積の係数は 1%水準で有意にプラスで推定されており、弾力性は 0.699 であった。また最寄り駅までバスを使用しなければならぬという条件の場合、家賃が約 25%減少するという推定結果を得

² 2003 年現在、朝の 7 時 30 分から 9 時に東京駅に到着する列車で、始発の列車がある駅は、高尾、八王子、豊田、武蔵小金井である。これらの駅を最寄り駅とするサンプルを 1 とするダミー変数である。

た。バスダミーが 1 であるサンプルは全体の約 9%と少なく、最寄り駅までバスを使用しなければいけないような地点に立地している借家は、バスを使用しなくてもよい借家に比べて、かなり不便と評価されているといえる。

次に通勤時間が家賃に与える影響を図 1 でみってみる。通勤時間 x 以外のデータの値はデータの平均値を用いて代入し、横軸に通勤時間を取り、縦軸に家賃をとっている。これによると通勤時間が長くなるにつれて家賃が下がるのがわかる。また通勤区間の混雑率が高くなるにつれて、同じ通勤時間であっても家賃が低いことも示された³。

図 2 では混雑率が家賃に与える影響をみってみる。図 1 と同様、混雑率 k 以外のデータの値はデータの平均値を用いている。これによると混雑率が高くなるにつれて家賃が低くなっていくのがわかる。また同じ混雑率であっても通勤時間が長いと家賃が低いことも示されている。

また表 4 の第 iii 列と第 iv 列に、家賃の混雑と通勤時間に対する弾力性を掲載している。どちらも値は負であり、混雑に対する弾性値は -0.48 から -1.08 、通勤時間に対する弾性値は -0.38 から -0.44 である。また始発駅ダミーと通勤時間の交差項の係数値は 0.011 でありプラスで有意に推定された。通勤時間帯に始発となる列車がある最寄り駅では、時間の弾性値を 0.011 プラスに押し上げることがわかった。すなわち最寄り駅が始発であると、時間が増加することによる家賃の下がり方が緩やかになることがわかった。始発であれば座って通勤できる可能性が高くなるためこの影響が家賃にでていると考えられるのではないか。

4. 通勤混雑の限界費用

(3)式を混雑率 k について微分すると、

$$\frac{\partial r^*(q, x, k)}{\partial k} = \frac{u_k}{u_x} < 0 \quad (5)$$

を得る。 u_k は効用関数 u の通勤混雑率 k についての限界効用であり、通勤混雑率 k の増加に伴い家賃が限界的にいくら減少するかを表している。(5)式の値は、通勤混雑の限界費用と解釈できる。そこで、(5)式に基づいて、第 3 節の推定によって得られたパラメータから通勤混雑の限界費用を計算する。推定モデルでは、説明変数に通勤時間と混雑率の交差項があるため、(5)式の限界費用は、通勤混雑率 k と通勤時間

³ この効果は、推定式の説明変数に通勤時間と通勤混雑率をかけた交差項を導入していることによる。次の図 2 で説明している混雑率と家賃の関係においてもこの交差項による効果がでている。

x の関数になる。これを関数 $f(k, x)$ で表し、通勤混雑の限界費用とする⁴。

各最寄り駅別に限界費用 $f(k, x)$ を計算したものが表 4 の第 v に報告されている。これによると、例えば通勤時間 35 分、平均混雑率 154% の三鷹駅からの通勤混雑の限界費用は約 520 円、通勤時間 76 分、混雑率 167% の高尾駅からの通勤者で 711 円であることがわかった。

第 5 節では、この混雑の限界費用関数 $f(k, x)$ を用いて、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次節の目的である。

5. 通勤混雑の外部不経済効果の測定

まず通勤混雑の外部不経済効果を導出する。ここでの外部不経済とは、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合計したものである。

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においてもたらず乗客の疲労費用の増分を合計したものが、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、全通勤区間が一駅区間のみである場合について図 3 を用いて例示しよう⁵。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、説明の便宜上区別する。まず、駅区間混雑率を k^1 、その平均である通勤区間混雑率を $k(k^1)$ 、この区間の通過人数を N 、通勤時間を x とする。通勤者の限界的な混雑率の増分に対する疲労費用は、(5)式で表される限界疲労費用関数 $f(k, x)$ であり、通勤区間混雑率を $k(k^1)$ に置き換え、 $f(k(k^1), x)$ となる。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^1 の増分は、(4)式より、

⁴ 付論 1 でしめしているように、山鹿・八田 (2000) では効用関数をコブ-ダグラス型に特定化している。そのため、彼らは等価変分による通勤の時間費用と疲労費用を求めている。詳しくは山鹿・八田 (2000) を参照されたい。

⁵ 駅区間が複数ある場合は、付論 2 で説明している。

$$\frac{dk^1}{dN^1} = \frac{1}{K} \quad (6)$$

である。そしてさらにこの駅区間混雑率 k^1 が、通勤区間混雑率 k に与える影響は、

$$\frac{dk(k^1)}{dk^1} \quad (7)$$

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、(6)式、(7)式を考慮して、

$$\frac{dk(k^1)}{dN^1} = \frac{dk(k^1)}{dk^1} \frac{dk^1}{dN^1} = \frac{dk(k^1)}{dk^1} \frac{1}{K} \quad (8)$$

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 $f(k(k^1), x)$ の限界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 E は、

$$E = N \cdot f(k(k^1), x) \cdot \frac{dk(k^1)}{dk^1} \frac{dk^1}{dN^1} \quad (9)$$

と表せる。つまり、追加的な通勤者が 1 人増えることによる疲労費用の増分を乗車人数で合計している。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。(9)式の値が、混雑の外部不経済の金銭換算された額となり、運営の限界費用をゼロとした場合、(9)式で求められる値が混雑料金になる。この値を、各駅ごとに計算した混雑料金が表 4 の第 vi 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 4 第 vii 列）の 0.7 から 2.94 倍（第 viii 列）の料金設定が必要であることがわかる。

6. 終わりに

本稿では、通勤ラッシュ緩和策として混雑料金制度を適応する場合に、いったいいくらを課すのがよいのかを求めた。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。また鉄道利用者は、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疲労費用を、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駅区間ごとに求めることができる。その結果、通勤ラッシュのピーク時の JR 中央線では、通勤ラッ

シユ時には現行の通勤定期料金の0.7から2.94倍の料金設定にする必要があるという結論を得ることができた。

付論1：

山鹿・八田(2000)では、効用関数を具体的にコブ-ダグラス型の関数に特定化しており、それは、

$$u(h, z, l) = h^\beta z^{1-\beta} l^\alpha \quad (\text{a1})$$

である。 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。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、

$$l = \delta - x \quad (\text{a2})$$

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、半日あたりに換算した時間であり、すべての住民が共通の一定時間を持つとする。(a1)式の l を(a2)式でおきかえると、効用関数 u は、

$$U(h, z, x) = h^\beta z^{1-\beta} (\delta - x)^\alpha \quad (\text{a3})$$

となる。この効用関数に、混雑による疲労の効用に与える効果を組み入れるために、混雑による疲労から回復するのに必要とする時間を a として、(a2)式の右辺からさらに差し引いて、

$$l = \delta - (x + a) \quad (\text{a4})$$

と余暇時間を再定義する。つまり a は疲労調整時間と考え、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考えることができる。この場合 a は正である。しかしすいた電車にすわって乗れ、い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 の値は負になると考えることができる。 $x+a$ を「調整済通勤時間」と呼ぶことにすると、この調整済通勤時間は通勤時間 x と通勤混雑率 k の関数 $t(x, k)$ として考えることができる。山鹿・八田(2000)では、この $t(x, k)$ を、混雑率 k に対して単調増加な関数 $m(k)$ を用いて、

$$t(x, k) = m(k) \cdot x \quad (\text{a5})$$

と定めている。 $m(k)$ 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。例えば、 $m(k)$ 関数の形状の例としては図4のようなものを考えることができる。いくらすいている車両であっても、調整済通勤時間 $m(k) \cdot x$ の値が限りなくゼロの値に近づくということはありえない。グラフでは、混雑率 k が低い時には、 $m(k)$ の値が 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。

(a4)式、(a5)式の通勤時間の再定義を考慮して(a3)式の効用関数を書き換えると、

$$U(h, z, x, k) = h^\beta z^{1-\beta} (\delta - m(k)x)^\alpha \quad (\text{a6})$$

という効用関数を導くことができる。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導出される家賃関数を山鹿・八田(2000)で用いている。本文(2)式の効用関数は、(a6)式の効用関数を一般的に考えていることに対応している。

付論2：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は駅が一つしかなく、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。通勤者の1%当りの疲労費用は、(5)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、(4)式より、

$$\frac{dk^i}{dN^i} = \frac{1}{K} \quad i = 1, 2 \quad (\text{b1})$$

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、

$$\frac{\partial k_2(k^1, k^2)}{\partial k^i} \text{ または, } \frac{dk_1(k^1)}{dk^i} \quad i = 1, 2 \quad (\text{b2})$$

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、(b1)、(b2)式を考慮して、それぞれ、

$$\frac{dk_2(k^1, k^2)}{dN^i} = \frac{\partial k_2(k^1, k^2)}{\partial k^i} \frac{dk^i}{dN^i} = \frac{\partial k_2(k^1, k^2)}{\partial k^i} \frac{1}{K} \quad i = 1, 2 \quad (\text{b3})$$

$$\frac{dk_1(k^1)}{dN^1} = \frac{dk_1(k^1)}{dk^1} \frac{dk^1}{dN^1} = \frac{dk_1(k^1)}{dk^1} \frac{1}{K} \quad (\text{b4})$$

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 (b3)、(b4) 式より、

$$E_1 = n_2 \cdot f(k_2(k^1, k^2), x_2) \cdot \frac{\partial k_2(k^1, k^2)}{\partial k^1} \frac{dk^1}{dN^1} + n_1 \cdot f(k_1(k^1), x_1) \cdot \frac{dk_1(k^1)}{dk^1} \frac{dk^1}{dN^1} \quad (\text{b5})$$

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。

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 人増えたとしよう (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、(b3) 式より、

$$E^2 = n_2 \cdot f(k_2(k^1, k^2), x_2) \cdot \frac{\partial k_2(k^1, k^2)}{\partial k^2} \frac{dk^2}{dN^2} \quad (\text{b6})$$

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、(b3)、(b4) 式より、

$$E^1 = n_2 \cdot f(k_2(k^1, k^2), x_2) \cdot \frac{\partial k_2(k^1, k^2)}{\partial k^1} \frac{dk^1}{dN^1} + n_1 \cdot f(k_1(k^1), x_1) \cdot \frac{dk_1(k^1)}{dk^1} \frac{dk^1}{dN^1} \quad (b7)$$

である。これは(b5)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、(b6)式と(b7)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、

$$\begin{aligned} E_2 &= E^1 + E^2 \\ &= n_2 \cdot f(k_2(k^1, k^2), x_2) \cdot \frac{\partial k_2(k^1, k^2)}{\partial k^1} \frac{dk^1}{dN^1} + n_1 \cdot f(k_1(k^1), x_1) \cdot \frac{dk_1(k^1)}{dk^1} \frac{dk^1}{dN^1} \\ &\quad + n_2 \cdot f(k_2(k^1, k^2), x_2) \cdot \frac{\partial k_2(k^1, k^2)}{\partial k^2} \frac{dk^2}{dN^2} \end{aligned} \quad (b8)$$

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、

$$\begin{aligned} E_i &= E_{i-1} + \sum_{j=1}^i n_j \cdot f(k_j(k^1, \dots, k^j), x_j) \cdot \frac{\partial k_j(k^1, \dots, k^j)}{\partial k^i} \frac{dk^i}{dN^i}, \\ E_0 &= 0 \quad (i=1, 2, \dots, I) \end{aligned} \quad (b9)$$

である。(b9)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。

参考文献

Hatta, T. and Ohkawara, T. [1994], “Housing and the Journey to Work in the Tokyo Metropolitan Area”, in Yukio Noguchi and James M. Poterba ed. *Housing Markets in the United States and Japan*, University of Chicago Press, pp. 87-131.

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.

志田州弘, 古川敦, 赤松隆, 家田仁[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 12.

財団法人運輸経済研究センター [1995, 2000], 『大都市交通センサス (首都圏)』

財団法人運輸経済研究センター[2003], 『平成 15 年版都市交通年報』

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.

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.

山鹿久木・八田達夫 [2000], 「通勤の疲労コストと最適混雑料金の測定」, 『日本経済研究』 41, pp.110-131.

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』 34.

リクルート [2003], ISIZE 住宅情報ホームページ (<http://www.isize.com>)

表 1 推定に用いた変数

近接性に関する属性変数	
バスダミー	： サンプルの立地点から最寄り駅までにバスを使用するかどうかのダミー変数
徒歩時間距離	： サンプルの立地点から最寄り駅までの徒歩での時間距離（分）
通勤時間距離	： 最寄り駅から東京駅までの所要時間（分）
建物構造に関する属性変数	
床面積	： 借家の床面積（m ² ）
築年数	： 借家の築年数（年）
周辺環境に関する属性変数	
通勤区間混雑率	： 最寄り駅から都心ターミナル駅までの最混雑1時間の平均混雑率（%）
市区ダミー	： サンプルの立地している区，あるいは市のダミー変数

表 2 記述統計量

変数	平均値
月額家賃 (万円)	10.30
徒歩時間 (分)	8.71
バスダミー	0.09
都心までの時間距離 (分)	36.80
通勤混雑率 (%)	157.50
始発駅ダミー	0.12
床面積 (m ²)	34.71
築年数 (年)	10.71

表 3 家賃関数の推定結果

変数	係数	標準偏差
徒歩時間 t	-0.042 ^{***}	(0.002)
バスダミー	-0.246 ^{***}	(0.008)
通勤時間 t	1.847 ^{***}	(0.412)
始発駅ダミー×通勤時間 t	0.011 ^{***}	(0.002)
混雑率 t	0.859 ^{***}	(0.217)
通勤時間 t×混雑率 t	-0.447 ^{***}	(0.082)
床面積 t	0.699 ^{***}	(0.003)
築年数 t	-0.050 ^{***}	(0.002)
吉祥寺ダミー	0.053 ^{***}	(0.007)
定数項	6.230 ^{***}	(1.080)
Adj. R ²	87.26	
F 値	2049.87	
サンプル数	8979	

注 ***, **, は係数がそれぞれ 1%, 5%水準で有意であることをしめす。

表 4 通勤の時間と疲労の限界便益と混雑料金

駅名	時間距離	通勤区間 混雑率	混雑の弾 力性	時間の弾 力性	限界費用 $f(k,x)$	混雑料金	定期料金	倍率
	(分) i	(%) ii	iii	iv	(円) v	(円) vi	(円) vii	viii
中野	20	144.76	-0.48	-0.38	364.85	81	115	0.70
高円寺	23	149.34	-0.54	-0.39	399.68	165	161	1.02
阿佐ヶ谷	25	150.95	-0.58	-0.40	422.55	243	161	1.51
荻窪	27	151.99	-0.61	-0.40	444.58	315	161	1.96
西荻窪	30	152.88	-0.66	-0.40	475.85	389	207	1.88
吉祥寺	32	153.66	-0.69	-0.40	494.10	461	207	2.23
三鷹	35	154.27	-0.73	-0.40	520.70	533	207	2.57
武蔵境	38	161.85	-0.77	-0.43	521.31	602	247	2.44
東小金井	41	168.19	-0.80	-0.44	523.87	667	247	2.70
武蔵小金井	43	172.95	-0.82	-0.46	522.97	727	247	2.94
国分寺	47	175.88	-0.86	-0.46	539.13	779	293	2.66
西国分寺	50	176.79	-0.89	-0.47	553.58	821	293	2.80
国立	53	177.51	-0.92	-0.47	567.45	862	293	2.94
立川	56	177.10	-0.94	-0.47	584.05	896	338	2.65
日野	60	175.40	-0.97	-0.46	609.07	925	378	2.45
豊田	63	173.41	-0.99	-0.46	629.88	951	378	2.52
八王子	68	171.87	-1.03	-0.45	657.40	978	424	2.31
西八王子	73	169.66	-1.06	-0.45	686.49	1003	424	2.37
高尾	76	166.59	-1.08	-0.44	711.03	1019	487	2.09

図1 混雑率別による家賃と時間距離の関係

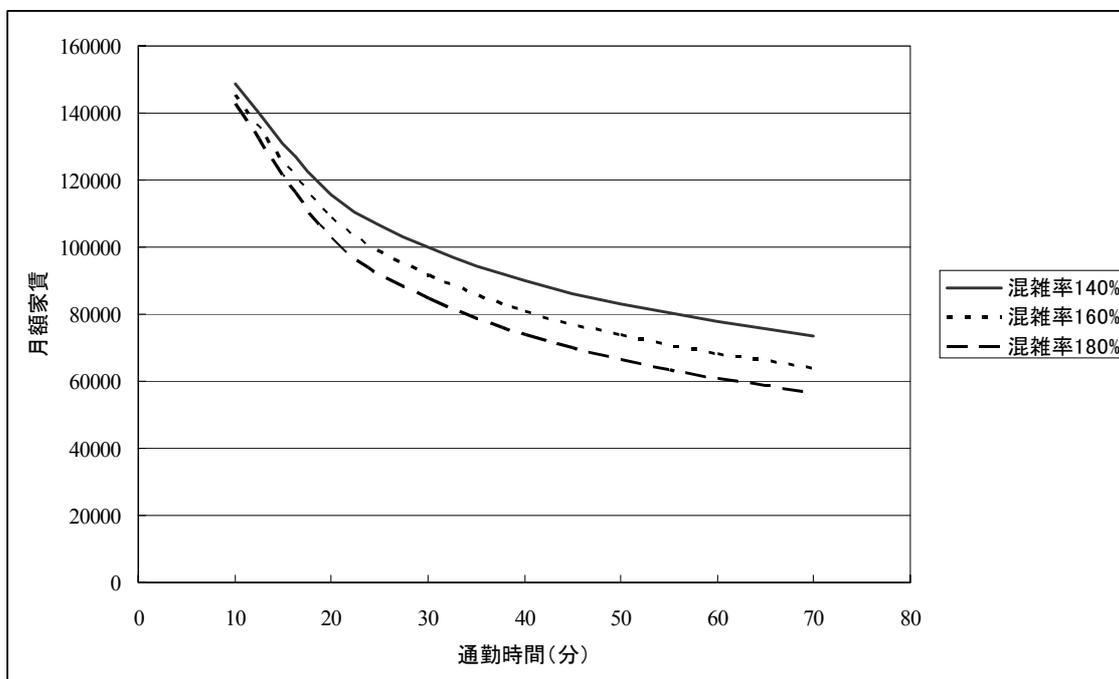


図2 時間距離別による家賃と混雑率の関係

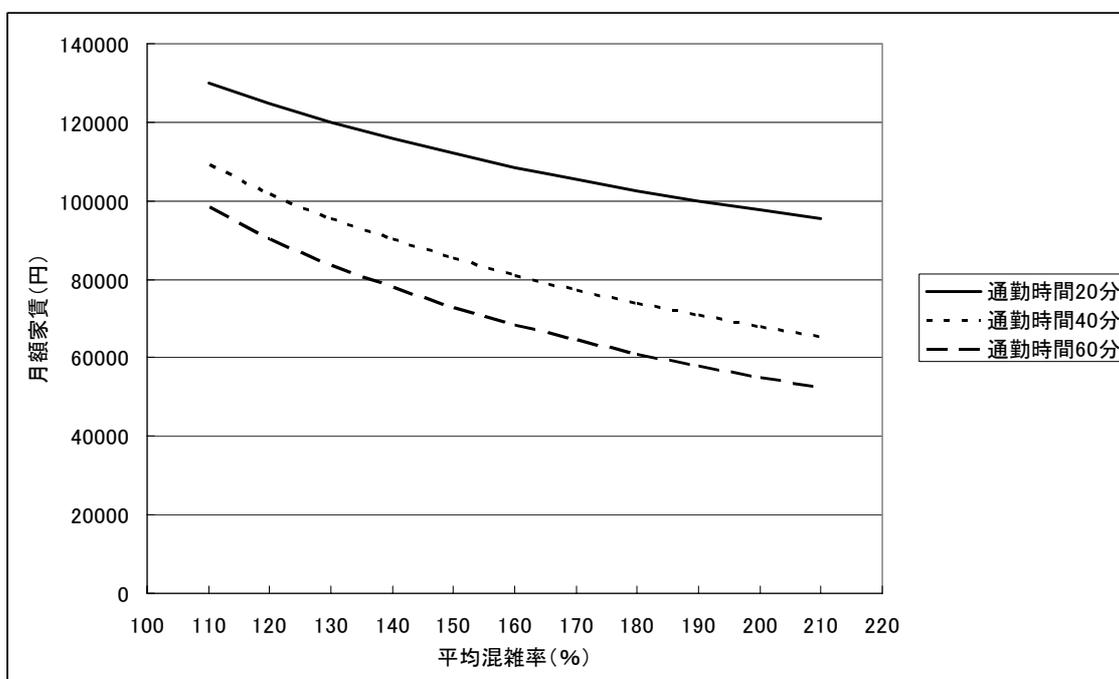


図3 第1駅からの通勤者の外部不経済

追加的な通勤者

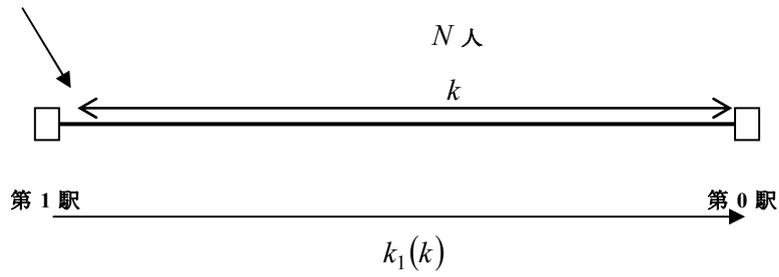


図4 $m(k)$ 関数の形状例

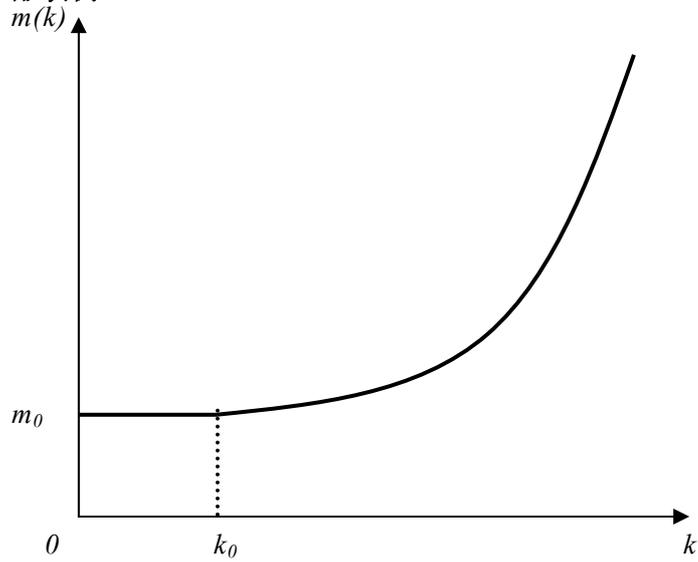


図5 2駅区間の場合

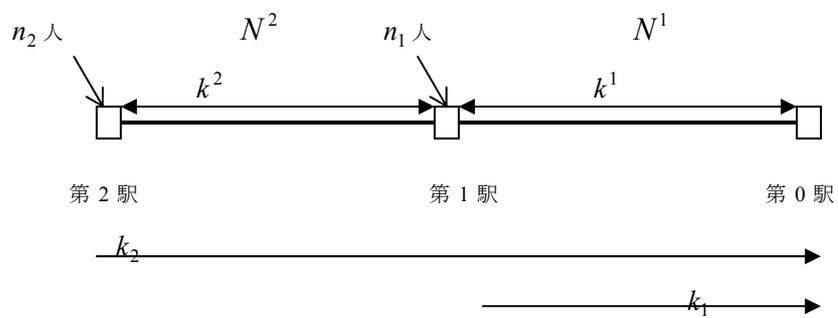


図 6 第1駅からの通勤者の外部不経済

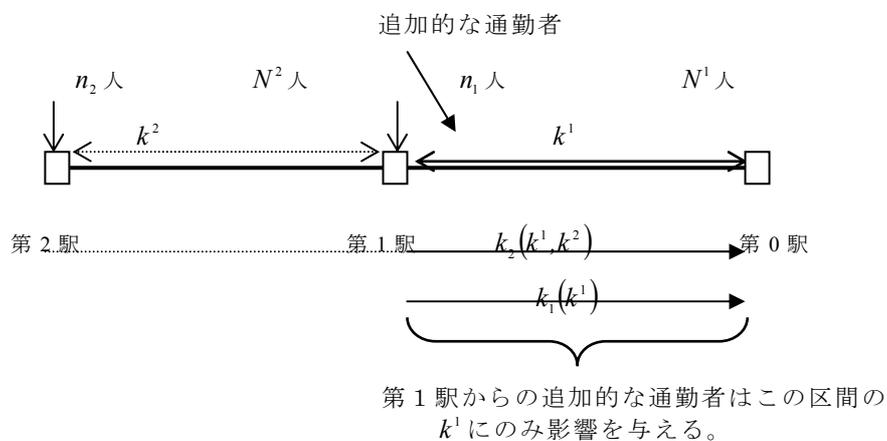


図 7 第2駅からの通勤者の外部不経済

