

# 通勤混雑外部性の定量化の試み

## An Empirical Estimation of a Congestion Externality

山 鹿 久 木

The main objective of this paper is to compute an optimal congestion charge to be levied on the commuting trips on commuter train lines in Tokyo by taking into account the marginal congestion cost. First, we directly introduce a variable of congestion rate into a commuter's utility function. And we calculate this utility function's parameters through an estimation of the housing rent function. Second, using this estimated utility function, we calculate the marginal rate of substitution between the composite nonhousing good and degree of congestion. This is each commuter's willingness to pay for a marginal change in the congestion level from housing rent function. Finally we measure the marginal congestion cost of an additional passenger, and propose the congestion cost to be the optimal charge.

Hisaki Yamaga

JEL : R14, R41, R48

Key words : Congestion, housing rent, externality

### 1 はじめに

自動車や鉄道での通勤時の混雑を緩和する政策の一つとして、ラッシュ時の料金を大幅に高くし、車の通行量や輸送人員の数を減らすという混雑料金制度がある。2003年にロンドン市中心部の自動車通勤者を対象に、この政策が実施されたことは記憶に新しい。この政策の経済学的な理論的根拠は、一台の追加的な車、あるいは一人の追加的乗客が混雑した道路や列車に入ってきた際に、他の車や乗客の時間や疲労を増大させる外部不経済効果に等しい料金を、混雑料金 (congestion charge) として課すことで、最適な混雑 (率) を得よう

というものである。この混雑料金を具体的にいくらにするかを決定するためには、この外部不経済を金銭換算する必要がある。

自動車の混雑料金については、経済学の分野だけでなく、交通工学の分野においても非常に多くの先行研究があるが、本論文では鉄道における通勤の外部不経済効果の導出を行った研究を紹介する。

福地 (1976) は混雑による外部不経済を、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金銭換算した。そしてこれを全ての通勤者について合計したものを外部不経済とし、通勤混雑費用と解釈した。ここでは、一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し、さらにそれを賃金率によって金銭換算している。

交通工学の分野でも、鉄道の混雑時の疲労に関する定量化の分析がある。家田他 (1988、1989) 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駅で観測し、その回避のために通勤者が実際に費やしている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。

国内の鉄道路線の混雑料金の測定には、八田 (1995) および山崎・浅田 (1999) の二つの先行業績がある。地価や家賃といった市場データから混雑の外部不経済を計測する試みを行っている。最適な混雑料金を算出するには、一人の乗客が他の乗客に及ぼす外部不経済の費用を計測する必要がある。そのためにはまず、混雑による疲労の費用を混雑度の関数として表す必要がある。日本では通勤に関する金銭的費用が支給されている。しかし都心から離れるにつれて地価や家賃が下がる。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や家賃に反映されていると解釈できる。これら二つの研究では、都心までの通勤時間について、地価や家賃分布を検証することにより外部不経済の計測を行っている。同様に Hatta and Ohkawara (1994) でも、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) はこれをさらに拡張し、効用関数に通勤時間だけでなく、混雑率が入る理論モデルを用いて、時間と疲労の費用

の金銭化を試みている。

さらに山崎・浅田（1999）は、首都圏の通勤鉄道ごとの混雑率のデータを利用し、各沿線の家賃関数を通勤時間と混雑率を説明変数に含めて推定し、そのパラメータを用いて混雑の金銭価値を求めた。山鹿・八田（2000）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。ここでは実証分析の際の推定モデルを、効用関数を特定化して導出している。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。さらに山鹿（2006）では一般的な効用関数の関数形より混雑の外部不経済計測を行っている。

本稿では、山鹿・八田（2000）の考え方と同様であるが、効用関数に不効用を与える要因としての混雑率を直接加え、そこから導かれる付け値関数（家賃関数）を推定する。その際の効用関数をCES型に特定化する。通勤者にとって、通勤は快適な方がよいであろう。したがって通勤者の効用関数に、通勤時の混雑率が影響を与えると考え、山鹿・八田（2000）と同様に直接混雑率の変数を導入する。この効用関数から家賃関数を導くことにより、家賃に影響を与える変数の一つとして都心にある勤務地までの混雑状況が家賃にどのような影響を与えているかを計測する。

以下本稿の構成は次のようである。第2節では簡単な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節では使用するデータの中で混雑率のデータについて解説する。第4節では、第2節で導かれる家賃関数の推定モデルが紹介され、推定結果が報告される。第5節では通勤混雑の限界費用を計算し、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る。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。居住地の近隣環境を  $q$ 、住宅の属性を  $x$ 、通勤時間を  $t$ 、通勤費用を  $c$  と表すことにする。すべての通勤者の効用関数は、住宅の質  $q$ 、レジャーの時間  $l$ 、そして価格が 1 の住宅以外の合成財に依存しており、

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

で表される。効用関数  $u$  はすべての要素に対して増加関数であり、凸であるとする。代表的な家計の所得を  $y$ 、労働時間以外の時間を  $\delta$ 、そして支払う家賃を  $r$  とすると (1) 式は、

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

と書き直せる。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。均衡ではすべての家計の効用水準は等しく、したがってあらゆる  $(x, q, t, c)$  に対して効用水準  $u^*$  はで一定となり、

$$u = u(x, q, \delta - t, y - r(x, q, t, c) - c) = u^*$$

を満たす。ただし、 $r(x, q, t, c)$  は均衡における家賃関数 (付け値関数) である。この通勤における時間や疲労を直接導入した効用関数から導かれる家賃関数を、Quigley (1982) の枠組みに基づき具体的に導出しよう。Quigley (1982) では効用関数を次のように特定化する。

$$U(z, h) = \sum_{i=1}^n \alpha_i h_i^{\beta_i} + z^\varepsilon \quad (3)$$

$h_i$  は、住宅立地環境の属性であり、(1) 式で定義した居住地の近隣環境  $q$ 、住宅 (建物) の属性  $x$ 、通勤時間  $t$ 、通勤の金銭的費用  $c$  などすべてを含める。 $z$  は合成財で、価格 1 である。 $\alpha_i$ 、 $\beta_i$ 、そして  $\varepsilon$  は推定されるパラメータである。(3) 式を以下の予算制約、

$$y = z + p^*(\mathbf{h}) \quad (4)$$

のもと、最大化する。ただし  $z$  は住宅以外の合成財であり価格は 1、 $y$  は世帯所得である。 $\mathbf{h} = (h_1, \dots, h_n)^T$  は、床面積、築年数といった住宅構造の特性や周辺環境を表す特性ベクトルを表している。そして  $\alpha_i$ 、 $\beta_i$ 、 $\varepsilon$  は、推定されるパラメータである。効用最大化問題の 1 階の条件は、

$$\log \frac{\partial p^*}{\partial h_i} = \log \frac{\alpha_i \beta_i}{\varepsilon} + (\beta_i - 1) \log h_i - (\varepsilon - 1) \log z \quad i = 1, \dots, n \quad (5)$$

である。Quigley (1982) では、推定モデルを次のように行っている。まず第一ステップで、均衡価格関数  $p^*(\mathbf{h})$  を推定する。この価格関数は、

$$p^{(\lambda)} = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i z_i + u \quad (6)$$

とする。 $u$  は誤差項であり、 $a_i$  は推定されるパラメータ、 $p^{(\lambda)}$  は、価格の Box-Cox 変換であり、

$$p^{(\lambda)} = \begin{cases} \frac{(p^\lambda - 1)}{\lambda}, \lambda \neq 0 \\ \log p, \lambda = 0 \end{cases}$$

と定義される変数である。 $\lambda$  は推定されるパラメータである。

第二ステップでは、均衡価格関数の特性変数  $h_i$  についてのそれぞれの偏微分係数値を計算し、(5) 式で与えられる一階の条件式を推定することにより、(3) 式の効用関数のパラメータ  $\alpha_i$ 、 $\beta_i$ 、 $\varepsilon$  を推定する。

### 3 データ

第 2 節の手順にしたがって推定する前に、ここでデータについて述べる。まず、住宅価格  $p^*(\mathbf{h})$  である民営の賃貸住宅の家賃データである。分析対象路線を、JR 中央線、京王線、京王井の頭線、西武新宿線、西武池袋線、小田急小田原線、東武東上線、東急玉川線としているため、これらの路線の沿線の家賃データを、リクルート (2000) による住宅情報のホームページより得ている。これらの路線は地理的に都心から郊外へ比較的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。サンプル数は 9、950 件である。

次に、説明変数としての住宅の特性ベクトル、 $\mathbf{h}$  として次のような変数を用いる。

$h_1$  : 住宅の敷地面積 ( $\text{m}^2$ )

$h_2$  : 築年数 (年)

$h_3$  : 最寄り駅までの徒歩時間 (分)

$h_4$  : 東京駅までの片道所要時間 (分)

$h_5$  : 通勤混雑時の混雑率 (%)

$h_1$ 、 $h_2$ 、 $h_3$  は、リクルート (2000) から得た。また、最寄り駅から東京駅までの所要時間距離  $h_4$  は、ヴァル研究所 (2000) のソフトウェアである「駅すぱあと」を用いて計測した。この所要時間は、朝 8 時半 (ラッシュのピーク時間帯) に東京駅に着く場合の所要時間であり、乗り換えが必要な場合はその乗り換えに要する時間も含んでいる。

図 1 駅区間と通勤区間

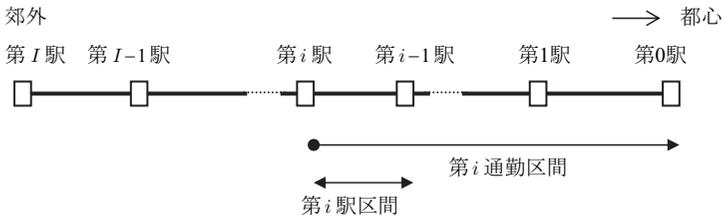


表 1 各データの記述統計

	平均値	最小値	最大値
家賃 (万円)	12.39	3.1	55.0
徒歩 (分)	7.81	1.0	30.0
東京駅までの時間距離 (分)	37.65	14.0	69.0
駅区間混雑率 $k^i$ (%)	154.08	39.21	209.73
通勤区間混雑率 $k_i$ (%)	149.94	72.74	200.82
床面積 ( $\text{m}^2$ )	43.41	9.51	190.25
築年数 (年)	10.20	1.0	46.0

次に混雑率のデータ  $h_5$  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<sup>1)</sup>。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1参照）。都心の終着駅を0とし、郊外へ向けて都心側から順に  $1, 2, \dots, I$  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、

$$k^i = \frac{N^i}{K} \quad (7)$$

で定義される。ただし、第  $i$  駅区間の最混雑1時間の通過人員を  $N^i$  人、その時間帯の輸送能力（定員数）を  $K$  人とする。この輸送能力は、最混雑1時間の間にどれだけの本数が運行されているかと車両1両当りの定員数により決まる<sup>2)</sup>。

次に第  $i$  駅から第0駅までの通勤区間を「第通勤区間」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、駅間営業キロ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、

$$k_i = \sum_i \omega_i k^i \quad i = 1, 2, \dots, I \quad (8)$$

と表せる。 $\omega_i$  は駅間営業キロのウエイトである。すなわち第  $i$  駅を最寄り駅にする通勤者にとって、都心まで通勤する時の通勤環境が  $k_i$  で表されている。以上のデータの記述統計を表1に示す。

## 4 推定結果

### 4.1 住宅価格関数の推定

Quigley (1982) の方法の第一ステップは、第(6)式の均衡価格関数を推定することである。被説明変数である家賃に対して、Box-Cox 変換を行った

1) 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。  
2) 路線ごとの駅間通過人数は、『平成11年版都市交通年報』（運輸政策研究機構）より推定している。

推定式は、

$$p^{(\lambda)} = a_0 + a_1h_1 + a_2h_2 + a_3h_3 + a_4h_4 + a_5h_5 + e \quad (9)$$

となる。 $h_1$  から  $h_5$  は第 3 節で説明したものと同じで、 $h_1$  は住宅の敷地面積 ( $m^2$ )、 $h_2$  は築年数 (年)、 $h_3$  は最寄り駅までの徒歩時間 (分)、 $h_4$  は東京駅までの片道所要時間 (分)、そして  $h_5$  は通勤混雑時の混雑率 (%) である。また、 $a_i (i = 0, 1, \dots, 5)$  は推定されるパラメータである。 $e$  は誤差項であり、i.i.d. の仮定を満たす。推定結果を表 2 で報告している。

表 2 は、最尤法による推定結果である。 $\lambda$  の推定値は 0.172 でありセミログ型のヘドニック関数となる  $\lambda = 0$  の検定は棄却され ( $\chi^2 = 284.57$ )、同様に線形のヘドニック関数となる  $\lambda = 1$  の検定も棄却された ( $\chi^2 = 7147.94$ )。推定されたパラメータはすべて理論と整合的な符合であり、通勤区間の混雑率の係数である  $h_5$  も負の値を示していることから、混雑率が高い通勤区間かの通勤は、家賃を引き下げることがわかった。

表 2 ヘドニック価格関数の推定結果

変数	係数值	St. Err.
最寄り駅までの徒歩時間： $h_1$	- 0.0155***	(0.00044)
東京駅までの時間距離： $h_2$	- 0.0112***	(0.00050)
床面積： $h_3$	0.0273***	(0.00009)
築年数： $h_4$	- 0.0121***	(0.00028)
通勤区間混雑率： $h_5$	- 0.0007***	(0.00024)
定数項	2.7023***	(0.03039)
$\lambda$	0.172	
N	9527	
Adj. R <sup>2</sup>	0.919	
Log likelihood( $\lambda=0.172$ )	- 2917.74	
$\chi^2 (\lambda=0.00)$	284.57	
$\chi^2 (\lambda=1.00)$	7147.94	

注) \*\*\* は 1%水準で有意であることを示す。

## 4.2 通勤者の効用関数の推定結果

第2ステップで、第(5)式の1階の条件式が推定される。被説明変数は、(9)式の推定結果より計算される限界効果であり、すべての属性変数である $h_1$ から $h_5$ について計算される。この説では、一般化されたCES関数のパラメータについて、表2で推定された結果をもとに計算する。(3)式のCES関数を、外部不経済の計算の際に使用する混雑率の変数についてわかりやすいように $h_5$ を $k$ と表記しなおし、(10)式のように書きなおす。

$$U = \sum_{i=1}^4 \alpha_i h_i^{\beta_i} + \alpha_5 k^{\beta_5} + x^\varepsilon \quad (10)$$

第2節で説明したように、(10)式を予算制約に基づいて最大化すると、以下の5本の1階の条件式を得ることができる。すなわち、

$$\log \frac{\partial p^*}{\partial h_i} = \log \frac{\alpha_i \beta_i}{\varepsilon} + (\beta_i - 1) \log h_i - (\varepsilon - 1) \log z \quad i = 1, \dots, 5. (\text{ただし } h_5 = k) \quad (11)$$

である。(11)式であらわされる5本の方程式体系から、11の係数を得る。そのパラメータから、効用関数のパラメータである $\alpha_1$ から $\alpha_5$ 、 $\beta_1$ から $\beta_5$ 、そして $\varepsilon$ を求めることができる。表3に推定された(11)式のパラメータを報告している<sup>3)</sup>。表3で求められたパラメータを効用関数に代入すると、以下の効用関数を得る。

$$U = -0.943 \cdot h_1^{0.037} - 0.670 \cdot h_2^{0.112} + 1.086 \cdot h_3^{0.037} - 0.946 \cdot h_4^{0.029} - 0.702 \cdot k^{0.879} + z^{0.722} \quad (12)$$

$h_1$ から $h_5$ は第3節で説明したものと同じで、 $h_1$ は住宅の敷地面積(m<sup>2</sup>)、 $h_2$ は築年数(年)、 $h_3$ は最寄り駅までの徒歩時間(分)、 $h_4$ は東京駅までの片道所要時間(分)、そして $h_5$ は混雑時の混雑率(%)である。

(12)式よりわかることは、通勤者は混雑率から負の効用を得ることである。すなわち、より混雑した区間からの通勤者は、より強い不効用を感じている。

3) 推定の際の合成財 $z$ のデータは、住宅統計調査(1998)より、東京都の民間借家の床面積別世帯所得データを得、そこから床面積別の賃料を引くことにより得た。

表 3 推定された 1 階の条件式のパラメータ

パラメーター	係数值	St. Err.
$\log \frac{\alpha_1 \beta_1}{\varepsilon}$	- 3.0179***	(0.00639)
$\log \frac{\alpha_2 \beta_2}{\varepsilon}$	- 2.2679***	(0.02578)
$\log \frac{\alpha_3 \beta_3}{\varepsilon}$	- 2.8759***	(0.01360)
$\log \frac{\alpha_4 \beta_4}{\varepsilon}$	- 3.2683***	(0.00531)
$\log \frac{\alpha_5 \beta_5}{\varepsilon}$	- 4.7768***	(0.08611)
$\beta_1 - 1$	- 0.057356***	(0.00281)
$\beta_2 - 1$	- 0.32966***	(0.00713)
$\beta_3 - 1$	0.08599***	(0.00400)
$\beta_4 - 1$	- 0.05385***	(0.00181)
$\beta_5 - 1$	- 0.29827***	(0.01720)
$-(\varepsilon - 1)$	0.27785***	(0.00099)
Adj.R <sup>2</sup>	0.996	

注) \*\*\* は 1%水準で有意であることを示す。

## 5 通勤の外部不経済の測定

### 5.1 追加的な通勤者の限界費用

この節では限界混雑費用を定義しよう。合成財と住宅の各属性の限界代替率は、求められた (12) 式の効用関数より計算される。混雑率  $k$  と合成財  $z$  の間の限界代替率  $MRS(k, z)$  は、

$$MRS(k, z) = \frac{U_k(k, z)}{U_z(k, z)} = \left( \frac{\alpha_5 \beta_5}{\varepsilon} \right) z^{1-\varepsilon} k^{\beta_5-1} \equiv f(k, z) \quad (13)$$

である。 $U_k$  と  $U_z$  は、混雑率  $k$  と合成財  $z$  に関する限界効用である。合成財はニユメレールであるため、 $MRS(k, z)$  の値は、混雑率が 1%増えた場合の限界的な費用の金銭換算と解釈できる。したがって、この限界代替率  $MRS(k, z)$  を、通勤の疲労の限界費用と定義し、 $f(k, z)$  であらわす。

### 5.2 通勤の外部不経済効果の測定

(13) 式において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

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。この節では山鹿・八田（2000）に基づき、最適な混雑料金の測定を行う。

まず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2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、(13)式より関数  $f(k_1(k), x)$  である。

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  $k$  の増分は、(8)式より、

$$\frac{dk}{dN} = \frac{1}{K} \quad (14)$$

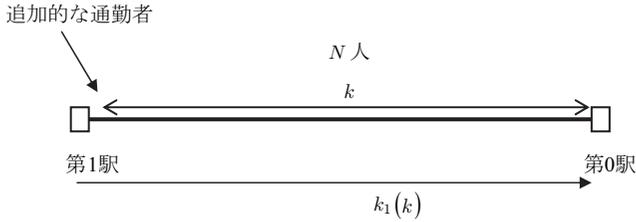
である。そしてさらにこの駅区間混雑率  $k$  が、通勤区間混雑率  $k_1$  に与える影響は、

$$\frac{dk_1(k)}{dk} \quad (15)$$

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、(14)、(15)式を考慮して、

図 2 第 1 駅からの通勤者の外部不経済



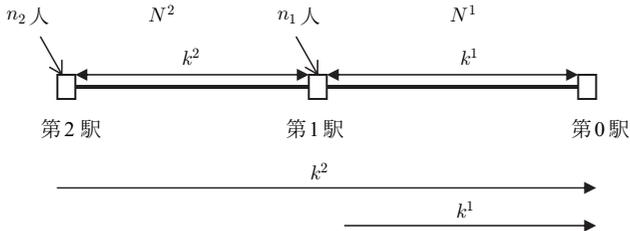
$$\frac{dk_1(k)}{dN} = \frac{dk_1(k)}{dk} \frac{dk}{dN} = \frac{dk_1(k)}{dk} \frac{1}{K} \quad (16)$$

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、(16) 式より、

$$E = N \cdot f(k_1(k), x) \cdot \frac{dk_1(k)}{dk} \frac{dk}{dN} \quad (17)$$

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。

図 3 2 駅区間の場合



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。駅区間が 2 つの場合を考える (図 3)。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、(13) 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、

$$\frac{dk^i}{dN^i} = \frac{1}{K} \quad i = 1, 2 \quad (18)$$

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、

$$\frac{\partial k_2(k^1, k^2)}{\partial k^i} \text{ または、} \frac{dk_1(k^1)}{dk^1} \quad i = 1, 2 \quad (19)$$

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 (8) 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、(18)、(19) 式を考慮して、それぞれ以下で定められる。

$$\frac{dk_2(k^1, k^2)}{dN^i} = \frac{\partial k_2(k^1, k^2)}{\partial k^i} \frac{dk^i}{dN^i} = \frac{\partial k_2(k^1, k^2)}{\partial k^i} \frac{1}{K} \quad i = 1, 2 \quad (20)$$

$$\frac{dk_1(k^1)}{dN^1} = \frac{dk_1(k^1)}{dk^1} \frac{dk^1}{dN^1} = \frac{dk_1(k^1)}{dk^1} \frac{1}{K} \quad (21)$$

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。

仮に第 1 駅から乗車する通勤者が 1 人増えた場合 (図 4)、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 (20)、(21) 式より、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 5)。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

図 4 第 1 駅からの通勤者の外部不経済

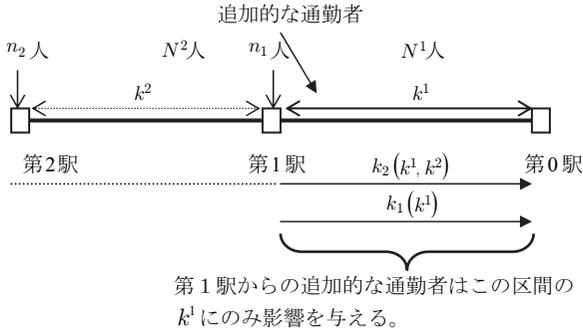
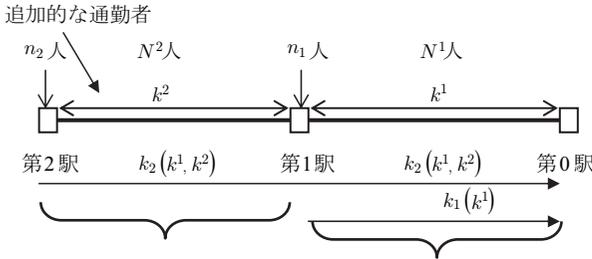


図 5 第 2 駅からの通勤者の外部不経済



1. 2駅からの追加的な通勤者はまずこの区間の  $k^2$  に影響を与える。
2. 次にこの区間の  $k^1$  に影響を与える。

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、(20) 式より、

$$E^2 = n_2 \cdot f(k_2(k^1, k^2), x_2) \cdot \frac{\partial k_2(k^1, k^2)}{\partial k^2} \frac{dk^2}{dN^2} \quad (22)$$

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、(20)、(21) 式より、

$$E^1 = n_2 \cdot f(k_2(k^1, k^2), x_2) \cdot \frac{\partial k_2(k^1, k^2)}{\partial k^1} \frac{dk^1}{dN^1} + n_1 \cdot f(k_1(k^1), x_1) \cdot \frac{dk_1(k^1)}{dk^1} \frac{dk^1}{dN^1} \quad (23)$$

である。これは (17) 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、(22) 式と (23) 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、

$$E_2 = E^1 + E^2 \\ = n_2 \cdot f(k_2(k^1, k^2), x_2) \cdot \frac{\partial k_2(k^1, k^2)}{\partial k^1} \frac{dk^1}{dN^1} + n_1 \cdot f(k_1(k^1), x_1) \cdot \frac{dk_1(k^1)}{dk^1} \frac{dk^1}{dN^1} + n_2 \cdot f(k_2(k^1, k^2), x_2) \cdot \frac{\partial k_2(k^1, k^2)}{\partial k^2} \frac{dk^2}{dN^2} \quad (24)$$

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、

$$E_i = E_{i-1} + \sum_{j=i}^I n_j \cdot f(k_j(k^1, \dots, k^j), x_j) \cdot \frac{\partial k_j(k^1, \dots, k^j)}{\partial k^i} \frac{dk^i}{dN^i}, \\ E_0 = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, I) \quad (25)$$

である。(25) 式に基づき、JR 中央線、京王線、京王井の頭線、西武新宿線、西武池袋線、小田急小田原線、東武東上線、東急玉川線の各駅から東京駅までの混雑料金を導出した。その結果を図 6 と図 7 にまとめている。図 6 と図 7 は、通勤混雑ピーク時の最適な混雑料金を示している。点線は、6 か月定期料金をさし、直線は最適な混雑料金を示している。さらにひし形は混雑料金が定

図 6 片道定期料金と最適混雑料金 (その 1)

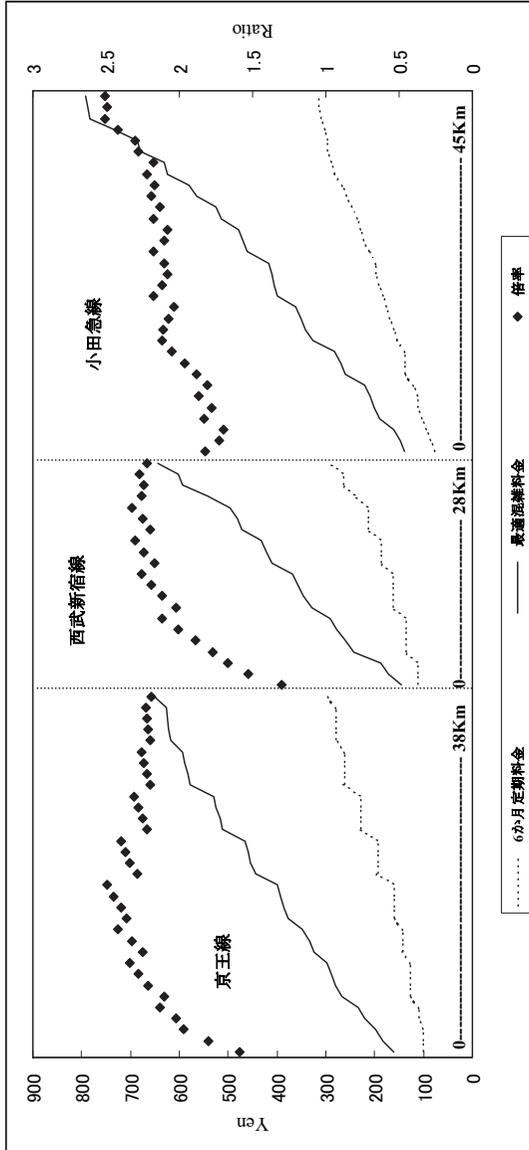
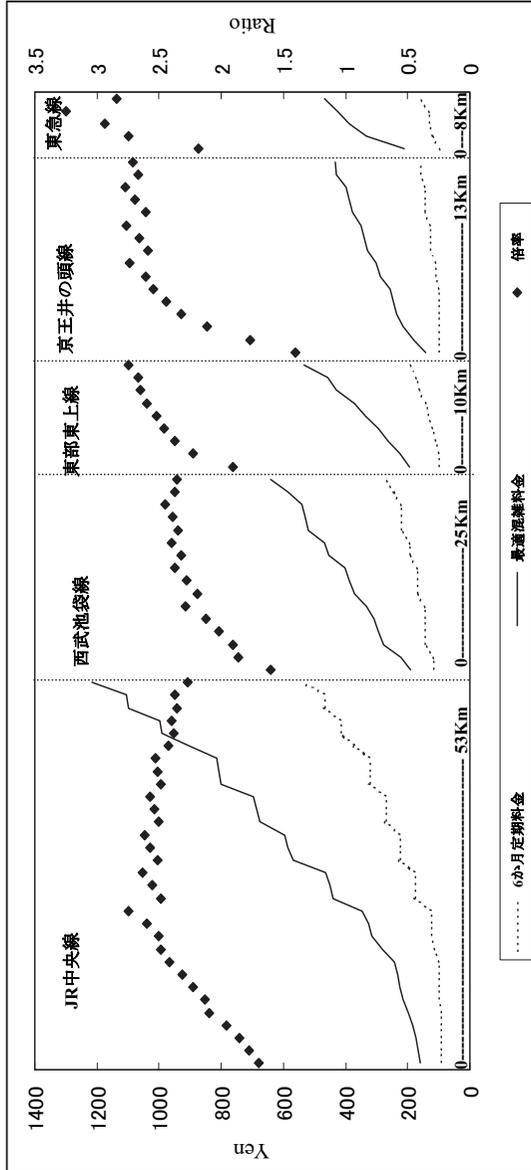


図7 片道定期料金と最適混雑料金 (その2)



期料金の何倍に当たるかを右目盛りで示している。日本においては、定期料金は普通料金の 40%引きになっている。図 6 と図 7 によると、この定期料金は混雑料金よりもはるかに安いことがわかる。混雑時に課されるべき料金は、定期料金の少なくとも 1.5 倍から 3 倍であることがわかった。

## 6 結論

混雑率を、通勤者の効用関数に直接導入することにより、限界的な混雑率増大に対する通勤者の支払い意志額を、家賃関数より導出した。そして、この限界的な支払意志額を導出することができたため、追加的な通勤者が、その他の通勤者全員に与える外部不経済を求めることができた。この外部不経済は、最適な混雑料金と解釈することができ、6 か月定期料金と比較すると、混雑料金はおよそ 1.5 倍から 3 倍程度になることがわかった。

## 参考文献

- 家田仁, 赤松隆, 高木淳, 島中秀人 (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・山鹿久木 (2006), 「通勤の疲労費用の効用関数を特定しない測定」, RIETI Discussion Paper Series 06-J-011.
- 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.
- 山鹿久木 (2006), 「通勤の時間と疲労費用の測定と混雑料金の導出」, 都心回帰の経済学—集積の利益の実証分析—八田達夫 編, 日本経済新聞社, pp.147-164.
- 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』No41, pp110-131.
- 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賃について」, 『住宅土地経済』VOL.34.
- 株式会社リクルート (2000), ISIZE 住宅情報 (<http://www.isize.com/house/>)
- (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』
- 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.
- Hatta, T. and Yamaga, H. (2001), “Fatigue Cost of Commuting and Optimum Congestion Charge: An Empirical Estimation”, Proceedings of Annual Conference of Asian Real Estate Society in Japan (CD-ROM).