

東京通勤鉄道における多段階制混雑料金の導入¹

～首都圏通勤者のマイクロデータを用いて～

一橋大学大学院 経済学研究科 修士課程

EM132013

松本 涼佑

2015年3月

¹ 本稿は一橋大学大学院経済学研究科・公共政策プログラムにおけるコンサルティング・プロジェクトの最終報告書として、受け入れ機関である（公財）鉄道総合技術研究所に提出したものである。本稿の内容は全て筆者本人の個人的見解であり、受け入れ機関の見解を示すものではない。

目次

第1章 序論	4
1-1. 問題意識	4
1-2. 混雑料金＝外部不経済効果	7
1-3. ピークロードプライシングの実現可能性について	8
1-3-1. 多段階料金制の提案	8
1-3-2. 通勤費会社負担の問題	9
1-3-3. 企業側の戦略について	10
1-4. 混雑料金収入による輸送力増強	11
第2章 先行研究	13
2-1. 疲労費用の算出	13
2-2. 混雑料金の導出	14
2-3. 出社時刻選択モデル	15
2-4. 先行研究と本研究の違い	16
第3章 最適混雑料金の導出	18
3-1. モデルにおける仮定	18
3-2. モデル構築	18
3-2-1. 概要	18
3-2-2. 被説明変数	19
3-2-3. Alternative specific な説明変数	19
3-2-4. Case specific な説明変数	21
3-2-5. 誤差項	23
3-2-6. 効用関数	23
3-2-7. 混雑率について	25
3-3. データ	26
3-3-1. 使用データ概説	26
3-3-2. 記述統計	27
3-4. パラメータ推定	31
3-5. 限界効果による係数解釈	36
3-6. 混雑の限界費用	43
3-7. 外部不経済効果の導出	44

3-7-1. 導出方法	44
3-7-2. 最高混雑時の混雑料金.....	46
3-7-3. 各駅の混雑料金の推移.....	47
第4章 感度分析	49
4-1. 概要	49
4-2. 感度分析 1	51
4-3. 感度分析 2	53
4-4. 感度分析 3	55
4-5. 感度分析 4	57
第5章 結論	59
5-1. 分析結果	59
5-2. 政策的インプリケーション	60
第6章 展望	61
第7章 謝辞	64
第8章 補論	65
8-1. 大都市交通センサス利用者からの要望	65
8-2. 複数駅区間における外部不経済効果の導出方法.....	66
参考文献.....	71

第1章 序論

1-1. 問題意識

東京通勤鉄道における多段階制混雑料金の導入、これが本研究のメインテーマである。

東京は世界で最も人口密度の高い都市の1つとして、鉄道における通勤ラッシュは問題視されてきた²。

近年は生産年齢人口の減少といった通勤鉄道需要の減少や、各地での複々線化の完了や床面積の大きい車両の導入といった輸送力（供給力）の増強から混雑率は改善しつつあるが（図1参照）、一部では通勤時1時間の平均混雑率が200%（からだに触れ合い相当な圧迫感がある程度）を超える区間が存在する（図2参照）など、混雑による外部不経済効果が存在するのは明らかで、通勤地獄と揶揄される時間帯に対しての追加的な混雑の緩和策は必要であると考えている。

通勤鉄道混雑の緩和策としてしばしば挙げられるものを一通り列举すると、需要調整としてはピークロードプライシング（時間差料金制）やフレックスタイム制の導入といったタイム需要マネジメント（TDM）、都心での住宅開発の促進や通勤手当における非課税枠を撤廃し、非効率的な住宅選択（ここでは住居が勤め先よりも不当に遠い位置にあることを指す）を抑制することによって促される職住近接、電光掲示板ないしはスマートフォンのアプリケーション等を利用し、混雑車両情報を提供することによる乗客の車両分散策がある。また供給調整としては複々線化や三複線化・四複線化などの線路面での政策、両編成数・車幅の拡張やグリーン車・女性専用車両の撤廃など車両面での政策、信号システムの改善による列車本数の増加などといったダイヤ面での政策がある。

² 実際に運輸政策審議会答申第19号では、混雑率の目標として「大都市圏における都市鉄道のすべての区間のそれぞれの混雑率を150%以内とする（ただし、東京圏については、当面、主要区間の平均混雑率を全体として150%以内とするとともに、すべての区間のそれぞれの混雑率を180%以内とすることを旨とする）」とある。

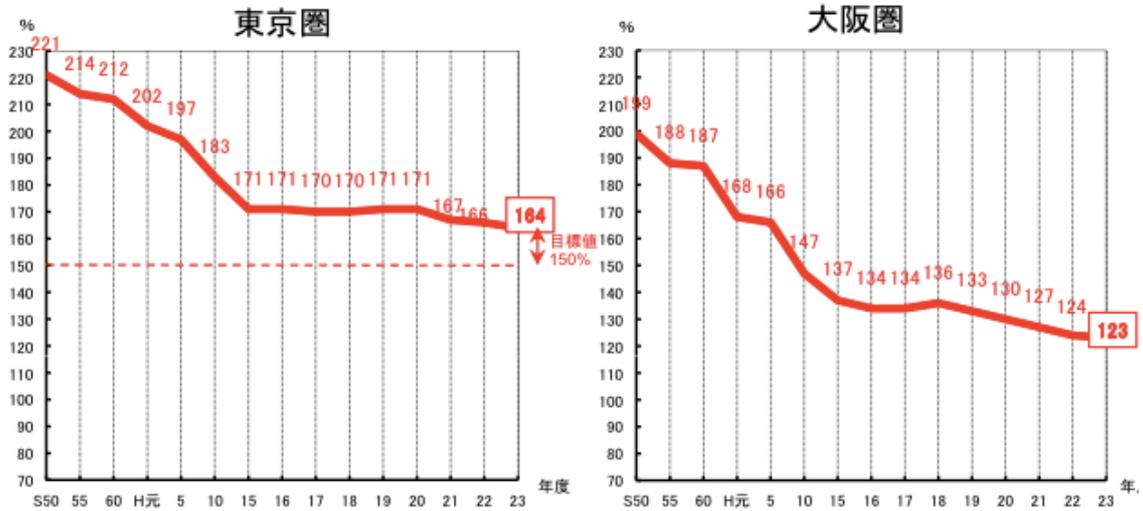
これらはいずれも需要側・供給側の調整として分割して議論されることが多いが、外部経済・外部不経済が存在するときは政府が積極的に介入し、特に価格メカニズムを利用した政策が望ましいというのは経済学の基本理論が教えてくれるところである。例えばオンピーク時に運賃を上げオフピーク時に運賃を下げるという料金体系（いわゆるピークロードプライシング）を導入すると、需要面では出勤時刻の分散化が促されるのはもちろんのこと（通勤費が会社負担であることから変わらないという主張に対する反論は後述）、我が国の通勤費用は会社負担という現状を考えると、高い運賃を払ってまで都心に立地する必要のない企業（もしくはその一部署）が都心から流出することを促進すると考えられる。また供給面では、短期的にはなんら変わりはないとして政治的な反対を受けやすいが、長期的には輸送力増強の財源として使うことができる。そして輸送力増強の暁には混雑率の減少、延いては最適混雑料金の低下というように乗客にも大きく還元され、このように価格メカニズムを通じて外部不経済を効率的に抑制することができる。

ここで価格メカニズムを用いない、例えば混雑率が150%以下で収まるように入場規制をかけてしまう政策ではどうか。これは確かに外部不経済を抑制しているが、外部不経済を発生させない経済活動（特に労働）も抑制してしまうのは明らかであり、効率的な政策とはいえない。

以上の理由から、本研究では東京圏の通勤鉄道混雑の解決策として価格メカニズムを利用するという一貫した立場をとる³（つまり多段階制混雑料金の導入）。これについて、IC乗車券（JR東日本の場合はSuica）の普及によって技術的にも可能になった現在、需要が大きいところ（時間帯）では価格が上がり、少ないところ（時間帯）では下がるという当然の価格メカニズムが、この通勤鉄道需要マーケットにも採用されるべきであると考えている。

³ 尚、八田、八代編（1995）でも同様の立場を取っており、特に「第1章 序論」の論理展開は同先行研究にならうところが大きい。

図 1 主要区間の平均混雑率推移



出典：国土交通省（2011）「三大都市圏の混雑率」

図 2 混雑率 180%を超える路線（2011）

（平成23年度）

線名	区間	混雑率	対前年増減
総武緩行線	錦糸町→両国	201%	▲2
山手線(外回り)	上野→御徒町	200%	▲1
東京メトロ東西線	木場→門前仲町	199%	+3
埼京線	板橋→池袋	198%	▲2
横須賀線	新川崎→品川	195%	+2
京浜東北線(南行)	上野→御徒町	194%	▲1
中央快速線	中野→新宿	193%	▲1
南武線	武蔵中原→武蔵小杉	193%	+2
高崎線	宮原→大宮	191%	±0
武蔵野線	東浦和→南浦和	187%	▲2
小田急小田原線	世田谷代田→下北沢	186%	▲2
東海道線	川崎→品川	186%	▲2
横浜線	小机→新横浜	184%	+1
京浜東北線(北行)	大井町→品川	183%	▲2
東急田園都市線	池尻大橋→渋谷	181%	▲1
京葉線	葛西臨海公園→新木場	175%	▲10

出典：国土交通省（2011）「三大都市圏の混雑率」

1-2. 混雑料金＝外部不経済効果

ピーク時の鉄道料金の引き上げは、高くなった料金を支払ってでもその時間帯に乗車しなくてはならない人のみが乗車するため通勤鉄道需要量が減り、混雑が削減される。しかし例えば混雑率が0%（すなわち乗客数が0人）になるまで料金を引き上げてしまえば、外部不経済を発生させない経済活動も抑制してしまう。以降では何をもって適切な混雑率及び、それを達成するための適正な混雑料金を定義するかを説明する。

混雑している車両への追加的な1人の乗客の増加によって発生する一般化費用は、その乗客自身が負担する時間・疲労費用の他に限界運営費用と外部不経済効果がある。ここで限界運営費用とは鉄道を運営する側が負担する電気代や人件費（清掃費や運営費）等の増分であり、外部不経済効果は（同車両内の）他の乗客に与える疲労費用である。したがって追加的な乗客が発生させる通勤の社会的限界費用は、

$$\text{通勤の社会的限界費用} = \text{乗客1人の時間・疲労費用} + \text{外部不経済効果} + \text{限界運営費用} \quad (1)$$

である。次に1人1人の通勤客が通勤鉄道に乗車することに対して支払う費用は、

$$\text{通勤の乗客費用} = \text{乗客1人の時間・疲労費用} + \text{料金} \quad (2)$$

である。そこで料金が次のように定義されているとすると

$$\text{料金} = \text{外部不経済効果} + \text{限界運営費用} \quad (3)$$

となり、このとき (1)・(2)・(3) 式より

$$\text{通勤の乗客費用} = \text{通勤の社会的限界費用} \quad (4)$$

が成り立つ。この等式が成り立っているとき、「その時間の乗車から得る便益が社会的限界費用を上回っている乗客だけが乗車する」という非常に望ましい状態が成立する。

料金の内、限界運営費用を超える部分を混雑料金とすると (3) 式より明らかに

$$\text{混雑料金} = \text{外部不経済効果}$$

(5)

が成立する（ここで適正な混雑を達成するための適正な混雑料金とは、外部不経済効果を金銭換算したものに等しいということが示された）。

しかし実際は規制（後述する総括原価主義という運賃体系）により混雑料金が最適レベルよりも低く設定されていると予想され、乗客は社会的限界費用の一部しか負担せず、その時刻の乗車によって得られる便益が社会的限界費用よりも低い人までが乗車し、過度な混雑を引き起こしているのが現状であると考えている。

当然、車両内が空いているオフピーク時は追加的な乗客が混雑による外部不経済は発生させないため、料金は限界運営費用に等しくし混雑による外部不経済を発生させない限り多くの乗客を受け入れ、混雑時に不必要な乗車をしている乗客の乗車時間分散化を促すべきである。

1-3. ピークロードプライシングの実現可能性について

1-3-1. 多段階料金制の提案

我が国におけるピークロードプライシングの例として挙げられるのは電話や水道、電力料金に代表される 2 段階料金制（別名、第 2 種価格差別）であり、JR の指定席特急料金が繁忙期に値上げされ閑散期に値下げされることや、グリーン車のようなシステムは実質的なピークロードプライシングと考えられる。海外では、ワシントン D.C. やロンドンでピーク時には通勤鉄道に高い料金を採用しているという例も存在する。

日本の都市鉄道でピークロードプライシングが採用されない理由は、通勤費が会社負担であることに加えて、2段階料金制を想定しておりピーク時間帯の料金が引き上げられても乗客は減らないと考えられているからではないか。例えば現在、東京都国立市（国立駅から東京駅まで中央線快速列車で約50分）に居住し、始業時刻が午前9時で毎朝8時半東京駅着の電車に乗る人にとってピーク時間帯の7時から9時までの運賃が高くなっても、9時過ぎに到着するというわけにはいかず、また1時間半早く起床して7時前に到着することを選択するよりも、高い運賃を支払ってでも満員電車で揺られて通勤を選択するという現象が起きてしまい、現状と変わりはないであろう（むしろ運賃が高くなっているため、利用者・企業側にはデメリットしかない）。

繰り返しになるがこれは2段階式のピークロードプライシングを想定しているからであり、本研究で提案する分刻みの多段階式のピークロードプライシングであれば上記のような問題を解決できる。通勤鉄道というのは即時財であり混雑は分単位で変動するものであるため、最適な混雑料金を課すのであれば、ピークロードプライシングを分刻み（本研究の場合、データの制約から10分刻み）で実施するというのは当然の帰結であり、IC乗車券の普及により技術的に可能となった。2段階料金制では混雑料金開始時刻直前と終了時刻直後は駆け込み需要の影響で混雑率は一気に上昇し、混雑料金開始時刻直後と終了時刻直前はその影響から極端に混雑は下がると考えられるが、ピーク時間帯の混雑率に大きな改善が見られるとは考え難い。それに対して多段階料金制では全通勤時間帯を通じて運賃がスムーズに変化するようになるため、短期的にも通勤ラッシュ時の混雑を緩和することができる。

1-3-2. 通勤費会社負担の問題

また日本では通勤費用が会社負担であることから、混雑税の徴収をしても通勤者の行動は変

わらないという意見がある⁴。これは我が国の所得税制で、月 10 万円までは通勤手当の非課税措置があるため、通勤手当を給与とは別立てで支給する方が企業・通勤者側の両方にとってメリットがあるからである。しかしこのような税制を前提としても、多段階料金制が導入されると通勤者の交通行動に影響を及ぼす。

まず 1 ヶ月当たりの通勤費が 10 万円以内の場所に居住する通勤者にとっても、ピーク時を避けて通勤する誘因が存在する。企業は最混雑時刻の最も高い運賃を負担したとすると、通勤者はその支給額でチャージする。そのとき、なるだけピーク時を避けて通勤をすれば、そのときの運賃と支給額との差額がそのまま通勤者の儲けとなる。しかしこれでは通勤費に対する非課税枠を収入に当てているという点で法に抵触するため、企業もそのような行動はとらないであろう。したがって企業は、各通勤者に考えられる通勤時間の内、最も低い混雑料金を負担し、通勤者は自腹で混雑料金を支払うことを回避するためにピーク時の通勤を避ける。このとき企業が始業時刻を変更しなくとも、通勤者が自発的に早く出勤していることに注目されたい。

また 1 ヶ月当たりの通勤費用が 10 万円以上になることはまず考えられないが、その額に収まらない場合は通勤者の通勤費自己負担を削減できるという面で、郊外から都心方面への住居移動（職住近接）を促し、非効率的な住居選択を抑制できると考えられる。1997 年までは通勤手当の非課税枠は 5 万円までであったが、1998 年に現在の額まで引き上げられた。したがってこの非課税枠を元の水準に引き下げることまた、非効率的な住居選択を抑制することができるであろう。

1-3-3. 企業側の戦略について

次に多段階制混雑料金制導入後の企業の行動について、通勤費が会社負担の現状から都心に

⁴ ワシントン D.C. やロンドンの例は先述したが、アメリカやイギリスでは通勤費用は自己負担である

立地する必要性が低い企業にとって、都心から郊外や地方への立地選択を促されるのは明らかであり、不必要な東京一極集中を抑制することができるだけでなく、加えて地方の活性化に繋がる可能性も秘めている。

また立地を変更しない企業にとっても、始業時刻を変更またはフレックスタイム性を導入することにより、企業がピーク時の混雑料金を支給する必要がなくなるという誘因が働く。これは当然、通勤者の出勤時刻を分散化させる効果がある。

1-4. 混雑料金収入による輸送力増強

先述したように混雑料金制の導入には需要削減効果だけではなく、料金収入を輸送力増強投資に当てる供給力の増大効果も存在する。したがって長期的には通勤者に混雑の低下という形で還元される。

混雑料金による利潤が正である限り鉄道会社は輸送力増強投資を行うとすると、最適混雑料金が下がり続け混雑料金からの収入が固定費と等しくなり、利潤は0となる。ここで「通勤圏全体における通勤鉄道の生産関数が規模に関して収穫一定であるとき、最適混雑料金が課され、利潤が0になる鉄道施設規模の下では鉄道施設の規模が最適になる」ことを示すのがモーリングの定理である。

ここで「通勤圏全体における通勤鉄道の生産関数が規模に関して収穫一定である」という条件が意味するところは、最小の費用増加で通勤圏全体の通勤鉄道の乗客数を1割増やすためには、通勤鉄道で消費される費用（土地・レール・車体・電気代・人件費・乗客の時間・疲労費用を金銭換算したもの等によって構成）を1割増やさなければいけないという条件である。例えば比較的混雑の少ない地方路線では、なんらかの事情により鉄道需要が急増したとしても、乗客を1割増やすのに線路投資をせず車両1両の導入で賄えるのに対し、東京の通勤ラッシュの

ように混雑している時間帯の路線では、線路投資を行わずして乗客を1割増やすことはできず、この条件は比較的満たされていると考えられる。したがって東京圏の通勤鉄道需要マーケットではモーリングの定理が成立し、混雑料金を最適な水準まで引き上げ、それによる利潤が正である限りは鉄道投資を行うべきである。

しかし現行のJR運賃は総括原価主義という、超過利潤が発生しないちょうどの水準で規制されているため、鉄道投資を行う誘因が存在しない。したがって総括原価主義という規制を撤廃し、モーリングの定理に則った多段階制ピークロードプライシングの導入こそが東京通勤鉄道混雑解決の糸口であり、本研究では中央線上り方向を東京の代表的通勤路線と仮定し、多段階制の混雑料金を導出する。

第2章 先行研究

2-1. 疲労費用の算出

外部不経済効果の導出までは行っていないが、通勤鉄道混雑による疲労（費用）に関する先行研究として、福地（1976）と家田他（1988,1989）がある。

福地（1976）は通勤鉄道混雑に伴う疲労費用を、独自の定義による「混雑による異常カロリー消費量」によって計測した。それはつまり1日のカロリー消費量を、1分当たりの基礎代謝量・睡眠時間（分）・覚醒時間（分）・業種別労働時間（分）・業種別エネルギー代謝率を用いて定義した後、混雑による異常カロリー消費量を混雑率100%の平常時のカロリー消費量と混雑時のカロリー消費量の差で定義し、それを金銭換算することによって通勤混雑費用を算出している。ここで1日の労働に必要なカロリー量は、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、それを賃金率によって金銭換算している。結果は、1970年の1人当たり混雑費用が8,083円で、通勤人口13.7万人を乗じて混雑費用総額は11.1億円に上るとしている。

家田他（1988,1989）は通勤鉄道利用者の不効用を構成する要素として、待ち時間不効用・乗り換え不効用・混雑（率）不効用を挙げ、パラメータ推定を行っている。これは通勤鉄道の利用者が混雑を回避するために実際にどのような行動をとっているかを観測したデータをモデルに当てはめている。

これらの先行研究の問題点について、福地（1976）については通勤混雑に伴う疲労費用が、異常カロリー消費量に一致するという根拠が不明確な点で問題があり⁵、これは説明変数に混雑率を取り込んだ効用関数の分析によって解決できると考えている。次に家田他（1988,1989）は混雑不効用を推計した先駆的な研究であるが、通勤者の列車選択行動を混雑という点でしか

⁵ 平常時のカロリー消費量を混雑率100%のときのカロリー消費量、すなわち混雑による疲労の発生を混雑率100%（乗客数＝定員数）からと暗に定義してしまっていることもまた不明確である。

見てない点で問題が残り、実際は各通勤者の勤務先の始業時刻や所要時間等様々な要素に依存するため、それらもコントロールした上で初めて混雑不効用の正確なパラメータが得られる。

2-2. 混雑料金の導出

具体的な混雑料金の導出まで踏み切った一連の研究としては八田(1995)、山崎,浅田(1999)、山鹿,八田(2000)、八田,山鹿(2006)、山鹿(2009)がある。

まず Hatta,Ohkawara(2004)が、日本では通勤費用が支給されているにも関わらず都心から離れるにしたがって家賃が下がるという傾向があるということに着目し、これは通勤時の時間・疲労費用が反映されているとして、中央線沿線の地価関数を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計測した。そして八田(1995)はその通勤時間費用を、外生的な仮定を用いて時間費用と疲労費用に区別し、疲労費用を混雑度の関数として表すことによって最適混雑料金を算出する方法を示し、最適混雑料金を導出した。

次に山崎,浅田(1999)は中央線沿線の家賃関数を、通勤時間を変数として推定し、混雑率のデータを直接利用することによって外生的な仮定を用いずに最適混雑料金を導出した。

山鹿,八田(2000)では混雑度が直接効用関数に組み込まれる八田(1995)のモデルを採用し、山崎,浅田(1999)で用いられた混雑率のデータを用いることによって、より精度の高い最適混雑料金を導出した。

八田,山鹿(2006)及び山鹿(2009)は、山鹿,八田(2000)が効用関数をコブダグラス型に特定化していることを改良し発展させたものであるが、八田,山鹿(2006)は効用関数の特定化は行わず、家賃関数を対数線形近似にて測定し、それを混雑率で偏微分することにより混雑の疲労費用を計測した。山鹿(2009)は効用関数をCES型に特定している。

以上のように最適混雑料金の導出においても一連の、数多くの先行研究が存在するが、いず

れも地価関数による推計（ヘドニックアプローチ）という点で非常に間接的なアプローチであるといえる。また家賃には、先行研究で定式化されているようなアクセス時間や床面積・築年数以外にも、周辺にコンビニエンスストアやスーパーがあるか否かの利便性や複数駅・路線の利用可能性や日当たり・風通し・ステータス⁶等様々なものが反映されるが、モデル内でコントロールされていないという点で推定値は必ずしも正確な値ではないと考えられる。

2-3. 出社時刻選択モデル

後述するが本研究では出社時刻選択モデルを構築し、推計の際に首都圏通勤者の交通行動を全面的に調査した大都市交通センサスデータを用いることによって、上記のような地価関数を用いた混雑料金導出の先行研究よりも、直接的なアプローチで混雑料金を導出する。大都市交通センサスデータを用いて出社時刻選択モデルを構築した先行研究には家田他（2002）がある。

これは出社時刻の選択肢を午前 6 時から正午まで 10 分区切りの合計 36 個と設定し、被説明変数をそれぞれの選択肢を選んだときの効用としている。ここで問題となるのは、例えば始業時刻が 9 時である人にとってそれ以降の選択肢は存在しないことであるが、それは遅刻時間というものを説明変数に入れることによって改善している。その他の説明変数はそれぞれの選択肢を選んだ場合における起床時刻、（乗車時間は一定と仮定した下で）混雑率×乗車時間、始業時刻別の平均出社時間よりも遅く出社した分の時間である集団乖離時間、（労働時間を一定と仮定した下で）帰宅時刻とし、様々なシナリオ⁷における混雑率の予測を行っている。

家田他（2002）における 1 番の問題点は、上でも説明した全通勤者に出社時刻別の 36 選択肢を課し、遅刻を許すというモデルの定式化である。選択肢の多さと類似性から IIA 特性を満

⁶ 吉祥寺ダミーのみ設定されている。

⁷ 2015 年を想定し、例えば人口減少による需要の減少や、輸送力増強政策が行われたときの供給力の増加などの組み合わせを複数。

たさないことが挙げられるし、また通勤者が戦略的に遅刻をするということは考えにくく、説明変数に遅刻時間を入れるというのは好ましくない。実際に個票データでは5分や10分という分単位の遅刻はほぼ見られず、それと比較して時間単位の遅刻は散見された。したがって通勤者が遅刻をするとしても、それはあらかじめ会社側に伝えられているような事情であると推測でき、やはり好ましい定式化ではない。

また首都圏通勤者のマイクロデータが存在するにもかかわらず、説明変数は全て選択肢に依存する (Alternative specific な) ものであり、選択肢に依存しない (Case specific な) 通勤者の属性が含まれていない。これは出社時刻に影響する説明変数が欠落しているという点で、非常に重要な問題である。それらをコントロールした上で推計を行うことによって初めて、バイアスのかかっていない正確なパラメータが得られる。

次に効用関数形について、例えば起床時刻不効用の関数系はS時型のガンベル分布形、遅刻不効用は対数線形というように別々の関数形で定義している。確かに政策目標を所与とする需要予測ではしばしば用いられる手法ではあるが、効用というものは1人間に対して1次元的に存在するものであるため、相似形ではない不効用関数を足し合わせて1つの不効用とするのは、効用の概念としては解釈し難い。

2-4. 先行研究と本研究の違い

本研究では、首都圏の各通勤者には乗車する車両内に混雑がなかった場合の理想的な出社時刻があると仮定し、混雑を避けるためにどのような行動 (前倒し or 後ろ倒し出社) をとっているかを表す出社時刻選択モデルを定式化する。ここで理想的な出社時刻からの乖離時間には東京都の平均賃金 (むろん感度分析の対象となる) を乗じることによって理想乖離時間費用とし、そのパラメータを用いることによって外部不経済効果を金銭換算でき、それが混雑料金と

なる。

したがって山鹿,八田 (2000) をはじめとする先行研究と比較してより直接的なアプローチで混雑料金を導出でき、また出社における選択肢は、出社時刻より何分前に出社するかと設定することで、家田他 (2002) のような遅刻に関する無理な仮定を置かず、かつ通勤者の属性も説明変数に加えることでより正確なパラメータ推定が可能になり、結果として正確な混雑料金導出につながる。

第3章 最適混雑料金の導出

3-1. モデルにおける仮定

郊外から都心に伸びている単一路線を想定し、全ての通勤者は郊外に居住しており、都心で雇用されていると仮定する⁸。この仮定により混雑料金の導出が可能となり（詳しくは「8-2. 複数駅区間における外部不経済効果の導出方法」参照）、また上記混雑料金導出の先行研究のデータも用いるためそれらにならう必要がある。

また現実に適用するためには2次元の鉄道ネットワークに時間を加えた3次元空間での混雑料金の導出をしなければいけないが、今回は代表的な1路線の1方向に時間を加えた2次元空間での混雑料金の導出を行う。

3-2. モデル構築

3-2-1. 概要

各通勤者には、通勤時に利用する車両には混雑というものが存在しない場合における理想的な入社時刻があると仮定し、混雑を避けるためにどのような行動（理想入社時刻の前倒し or 後ろ倒し入社）をとっているかをモデル化する⁹。つまり入社する時間帯の選択肢があるとし、被説明変数を実際に出社した時間の選択肢から得る効用（不効用）とし、選択肢に依存する（Alternative specific な）説明変数を混雑率や理想入社時刻からの乖離時間等、選択肢に依存しない（Case specific な）説明変数を通勤所要時間や性別等の通勤者の属性とした Conditional ロジットモデルを用いる。

以下それぞれの変数について説明する。

⁸ 後述するが、具体的には中央線快速列車上り方向である。

⁹ 「2-4. 先行研究と本研究の違い」で既述したが、理想的な入社時刻からの乖離時間（分）に東京都の平均賃金（円/分）を乗じたものを理想乖離時間費用とし、それにより混雑による外部不経済効果の金銭換算が可能になる。

3-2-2. 被説明変数

本研究では始業時刻から 15 分区切りで最大 90 分前までの 6 つの選択肢を構築し、実際に選んだ選択肢、すなわち効用が最大化された（不効用が最小化された）選択肢を被説明変数としている。

因みに選択肢を 15 分区切りとした理由は、本研究では 10 分単位で変動する混雑率データを用いることから 10 分区切りの推計と、通勤者の混雑変動の認知はそれよりも長いとした、15 分区切りで推計したところ、15 分区切りの方が各係数の t 値・P 値について良好な値が得られたという背景がある。また始業時刻より 90 分前までを選択肢とした理由は、30 分区切りで通勤者の累積割合を導出したところ下の表 1 のようになり、90 分前までであれば通勤者の 9 割以上が該当し、かつ 1 選択肢当たりの人数が極端に少なくなるということがなかったからである。

表 1 最大分前選択肢ごとの通勤者累積割合

始業時刻より	通勤者の累積割合
30分前出社	68.30%
60分前出社	87.68%
90分間出社	95.03%
120分前出社	98.85%

3-2-3. Alternative specific な説明変数

- 混雑率 (CON)

通勤者が乗車駅から降車駅までに経験する平均的な混雑率、すなわち通勤区間混雑率である（詳しくは下の「混雑率について」で定義する）。ある選択肢の混雑率が高くなれば、当然その選択肢を選択したときの効用は下がるはずである。したがって期待されるパラメータの符号は負である。

- 混雑率² (CONSQU)

上記の混雑率を 2 乗した項である。このパラメータは効用関数を混雑率について 2 階微分したときの値となる。混雑率に対する不効用はある点を境に上昇し、上昇幅が大きくなっていくと考えられるため、期待される符号は負である。

- 混雑率×乗車時間 (CONTAK)

上記混雑率に Case specific な説明変数の乗車時間を乗じることによって得られる変数。これも混雑率と同様に高ければ、当然その選択肢を選択したときの効用は下がる。期待されるパラメータの符号は負。

- {混雑率×乗車時間}² (CONTAK_SQU)

上記混雑率×乗車時間を 2 乗した項である。これも混雑率 2 乗の項と同様に、期待される符号は負である。

「3-6. 混雑の限界費用」及び「3-7. 外部不経済効果の導出」で導出するが、混雑料金を混雑率と乗車時間に依存させるためには混雑率の二乗に関する項と、混雑率と乗車時間の交差項がモデルに組み込まれていないといけない。

- 理想乖離時間費用 (ESTCOS)

通勤者の理想的な出社時刻と実際に出社する時刻との乖離時間に、時間価値を乗じた項である。

尚、ここでは理想的な出社時刻を、始業時刻別通勤者の平均的な出社時刻と仮定する。これは混雑を避けて理想出社時刻よりも前倒し・後ろ倒し出社する人及び、混雑を避けず理想出社時刻に出社する人全ての平均化されている時刻であり、理想的な出社

時刻と解釈するのにそれほど無理はないと考えている。また時間価値は東京都における 1 分当たりの平均賃金を用いている。

ここで一度気に留めなければいけないのが、「この定式化で IIA 特性は満たされるのか」ということである。理想乖離時間は選択肢によって必ず 15 分間の違いがあり、また後述するが混雑率は 10 分ごとに 5% ずつ推移するよう仮定されている。したがって選択肢毎に必ず 10% の違いが存在するため各選択肢は明確に区別され、IIA 特性は満たされているとし、検定の対象とはしない。

3-2-4. Case specific な説明変数

選択肢に依存しない説明変数を以下に挙げていく。

- 所要時間 (TIM)

通勤者が自宅を出発してから出社するまでの時間。この所要時間が長ければ長いほど、以下の乗車時間・アクセス時間・バスダミーで述べる様々な出社時刻の不確実性要因が増え、遅刻してしまう可能性が高くなるため、早めに出社する傾向があると思われる。

- 乗車時間 (TAK)

通勤者が通勤鉄道に乗車してから降車するまでの時間。乗車時間が長くなれば、列車の遅延による遅刻の可能性が高くなるため、早めに出社する傾向があると予想される。

- アクセス時間 (ACS)

通勤者が自宅を出発してから最寄り駅に到着するまでの時間。アクセス時間が長ければ長いほど、乗車時間と同様の理由や、バスやタクシー等の利用可能性が高くなりまた信号の存在によって最寄り駅に到着するまでの時間の分散が大きくなるため、早めに出

社する傾向があると予想される。

- イグレス時間 (EGR)

アクセス時間と同様の理由で、長いほど早めに出社する傾向があると予想される。

- バスダミー (BUS)

自宅から最寄り駅まで及び、降車駅から勤務先までの移動手段は徒歩を中心とし、自転車やタクシーなども存在するが、バスを利用する場合に1、それ以外の場合に0を取るダミー変数である。最寄り駅までの移動手段がバスであると、バスが遅延してしまう可能性やまた信号や各バス停での停車の存在によって目的地に到着するまでの時間の分散が大きくなるため、早めに出社する傾向があると予想される。

- 始発ダミー (STA)

通勤者の最寄り駅に、通勤時間帯の始発列車があるときのみ1、それ以外の場合に0を取るダミー変数¹⁰。最寄り駅が始発駅であると立ったまま混雑列車に揺られることなく、座れるという可能性が大きくなるため、混雑列車を過剰に避けるという誘因は存在しない。したがって列車選択行動延いては出社時刻選択行動になんらかの影響を及ぼしていると考えられるためコントロールする必要がある。

- 年齢 (AGE)

通勤者の年齢。年齢が高いほど早く起床することに対する不効用が低く、早く出社する傾向があることや、また年齢が高いほど混雑に対する不効用が大きいと考えられるためコントロールする。

- 女性ダミー (FEM)

通勤者が女性である場合にのみ1、男性の場合に0を取るダミー変数。女性の方が混雑

¹⁰ 中央線快速列車上り方向の場合は、高尾・八王子・豊田・武蔵小金井の4駅。

に対する不効用が大きく、理想入社時刻よりも前もしくは後ろ倒しに出社する傾向があると考えられる。

3-2-5. 誤差項

使用データについては後述するが、データの制約上モデルに組み込めなかった要素が幾つかある。

まずは所得である。例えば混雑時には通常車両に乗車する客とグリーン車に乗車する客の双方が存在し、後者は前者よりも収入が高いことが多いというのは想像に難くないであろう。これは所得が混雑に対する不効用に影響することを表しており、本来はコントロールされるべきである。国税庁「民間給与実態統計調査」では年齢・性別毎の平均年収のデータは得られるが、その2つについては既にコントロールされているため、今回は外生的な仮定を用いて所得を定式化することはしなかった。また2020年度からJR中央線にもグリーン車が導入することが発表されたが、所得が混雑の回避行動に与える影響がモデルで内生化できれば、そのあるべき料金についても議論できるであろう。

次に家族構成である。例えば子持ちの家庭であれば、お弁当を作らなければいけない、送り迎えをしなければいけない等の様々な事情から起床時刻や入社時刻に影響を与えるであろう。

また通勤者の勤務形態も本来定式化しなければいけないであろう。フレックスタイム制か始業時刻固定制かで混雑に対する回避行動は大きく異なり、結果として入社時刻の選択行動にも違いをもたらすと考えられる。

3-2-6. 効用関数

実際にパラメータ推定をする際に記述するが、本モデルにおいては考えられる Alternative

specific な説明変数の組み合わせは複数存在する。とりあえずここでは本モデルにおける効用関数の形を表すために、上に挙げた変数全てを組み込んだ式で記述する。

$$\begin{aligned}
 U_{it} = & \beta_{CON}CON_{it} + \beta_{CONSQU}CONSQU_{it} + \beta_{CONAK}CONAK_{it} + \beta_{ESTCOS}ESTCOS_{it} \\
 & + \alpha_2 * 1(t = 2) + \dots + \alpha_6 * 1(t = 6) \\
 & + \alpha_{TIM,2} * 1(t = 2) * TIM_i + \dots + \alpha_{TIM,6} * 1(t = 6) * TIM_i \\
 & + \alpha_{TAK,2} * 1(t = 2) * TAK_i + \dots + \alpha_{TAK,6} * 1(t = 6) * TAK_i \\
 & + \alpha_{ACS,2} * 1(t = 2) * ACS_i + \dots + \alpha_{ACS,6} * 1(t = 6) * ACS_i \\
 & + \alpha_{EGR,2} * 1(t = 2) * EGR_i + \dots + \alpha_{EGR,6} * 1(t = 6) * EGR_i \\
 & + \alpha_{BUS,2} * 1(t = 2) * BUS_i + \dots + \alpha_{BUS,6} * 1(t = 6) * BUS_i \\
 & + \alpha_{AGE,2} * 1(t = 2) * AGE_i + \dots + \alpha_{AGE,6} * 1(t = 6) * AGE_i \\
 & + \alpha_{FEM,2} * 1(t = 2) * FEM_i + \dots + \alpha_{FEM,6} * 1(t = 6) * FEM_i \\
 & + \alpha_{STA,2} * 1(t = 2) * STA_i + \dots + \alpha_{STA,6} * 1(t = 6) * STA_i \\
 & + \varepsilon_{it}
 \end{aligned}$$

(6)

添え字 i, t はそれぞれ個人 i と選択肢 t を指し、 $1(t=T)$ は選択肢 t が T と一致するときに 1、それ以外の時には 0 をとるダミー変数である。 β_{NAME} は Alternative specific な説明変数 $NAME$ におけるパラメータで、 α_t は選択肢 t を選んだ時の切片、 $\alpha_{NAME,t}$ は選択肢 t が選ばれたときの Case specific な説明変数 $NAME$ のパラメータ¹¹である。またいうまでもなく U は効用の値であり、 ε は誤差項である。この誤差項をガンベル分布にしたがうと仮定し、パラメータを最尤法により推定するのが Conditional ロジットモデルとなる。

¹¹ 選択肢 1 を選んだときの Case specific な説明変数のパラメータが存在しないのは、それを基準選択肢 (base alternative) として、選択肢 2~6 を選んだときのパラメータが推定されるからである。

3-2-7. 混雑率について

山鹿,八田 (2000) 等の先行研究にならって、駅区間混雑率と通勤混雑率を定義する。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 3 参照)。ここで都心の終着駅を第 0 駅とし、郊外の駅について都心側から順に第 1, 2, ..., I 駅とする。そこで第 i 駅と第 $i-1$ 駅の区間を第 i 駅区間とすることによって、第 i 駅区間の混雑率 k^i は

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

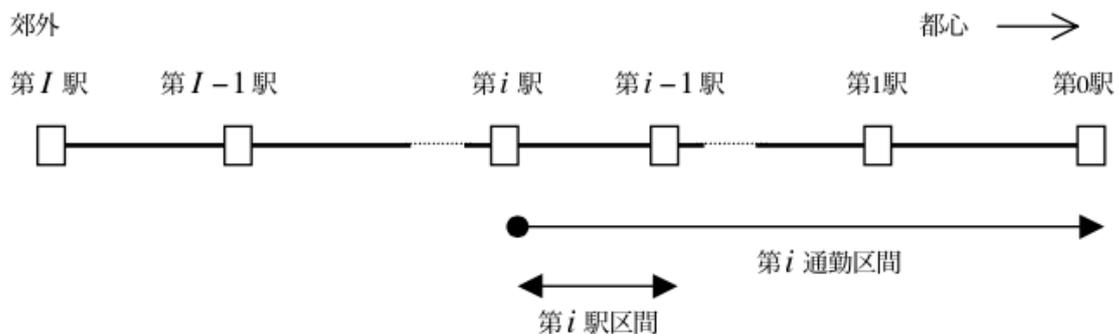
と定義される。ただし N^i は単位人の第 i 駅区間の車両 1 両当たりの通過人員で、 K は単位人の車両 1 両当たりの輸送力 (定員数) とする。

次に第 i 駅から第 0 駅までの区間を第 i 通勤区間とし、第 i 通勤区間の混雑率は、第 i 通勤区間に含まれる全ての駅区間ごとの混雑率を、駅区間時間をウェイトとして加重平均化したものと定義する。したがって

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

のように表さる。尚、 ω_i は駅区間時間のウェイトである。

図 3 駅区間と通勤駅区間



3-3. データ

3-3-1. 使用データ概説

本研究では以下に述べるデータの内、中央線の通勤者のデータのみを用いる。これは「3-1. モデルにおける仮定」でも述べたように、混雑料金導出の先行研究のデータも用いるためそれらにならう必要があったからである。

以下に本研究において用いたデータを列挙した。

- 大都市交通センサス (2010 年調査、首都圏版)

三大都市圏における鉄道・バス・路面電車の利用実態を明らかにするために 1960 年から 5 年ごとに実施してきた交通統計調査で、調査結果は都市計画や混雑緩和・速達性向上・乗り継ぎ円滑化等に役立てることを目標としており、本研究で用いるのに適していると考えられる。

本研究では大都市交通センサスのなかでも「鉄道定期券・普通券等利用者調査」を用いる。これは対象地域で降車する旅客に対して調査票を配布し、出発地・目的地・利用区間・移動目的等を記入してもらい、駅回収や郵送回収の他、インターネットによる回収も実施された個票データである。

実際に選んだ選択肢と理想出社時刻、及び Case specific な説明変数の全てをここから得る。

- 平成 23 年版 都市交通年報

中野～新宿間、中央線快速列車の最混雑時間帯(7:55～8:55)の混雑率 194%を中野～四谷・御茶ノ水・神田・東京間も同様とし、利用する。

- 八田,山鹿 (2006)

中央線の中野～高尾間の各駅から東京駅までの、通勤時間帯の平均でとった通勤混雑率のデータが存在するため、中野駅～東京駅と各駅～東京駅の平均通勤混雑率の比を、上記で得られた中野～東京駅間 194%に対して適用することで、最混雑時間帯の各駅～東京駅間の通勤混雑率が導出できる。

ただこのデータでは中央線の快速列車と各駅停車列車の混雑率が平均化されているために、(各駅停車列車の始発駅である) 三鷹駅から混雑率が急激に下落している。本研究で対象とするのは、中央線の内でも快速列車であるため、混雑率が平均化されていない部分(高尾～武蔵境間)のトレンドを用いて修正した。

- 家田他(2002)

これは首都圏全体の2次元鉄道ネットワークを山手線ターミナル駅からの距離帯で分けることによって1次元化し、混雑率を予測するモデルを構築したものである。郊外距離帯1(中野駅等が含まれる最も山手線ターミナル駅から近い距離帯)における現状再現性を確認したデータによると、7:55頃をピークとして前後10分単位で5%ずつ線形的に減少しているため、同駅での異時間帯の混雑率の推移としてこの分布を適用する。

以上の作業によって、対象とする全駅・全時間帯(同先行研究にならって、午前6時から正午までとした)の混雑率を得ることができる。

- 鉄道プロジェクトの評価手法マニュアル(2012年改訂版)

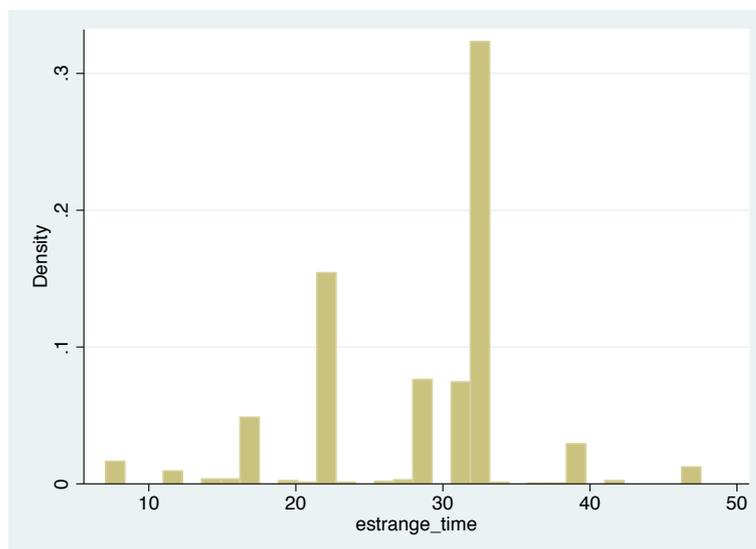
理想乖離時間1分当たりの時間価値について、所得接近法(分当たりの平均賃金)により割り出された東京都:47.0円/分を用いる(むしろこれは感度分析の対象となる)。

3-3-2. 記述統計

本研究では、説明変数や被説明変数に関ってくる時間やダミー変数について、ヒストグラム

及び度数分布表を記述することによって記述統計を行う。

表 2 理想入社時間のヒストグラム



まずは理想入社時間であるが、始業時刻より 30 分前の前後もしくは 20 分よりも少し前に集中していることが分かる。

表 3 実際に選択された選択肢の度数分布表

alternative	Freq.	Percent	Cum.
1	495	39.63	39.63
2	335	26.82	66.45
3	202	16.17	82.63
4	96	7.69	90.31
5	81	6.49	96.8
6	40	3.2	100
Total	1,249	100	

続いて実際に選ばれている選択肢であるが、始業時刻の直前 (0~14 分前) が最も多く、それ以前となると徐々に減っていく傾向が見て取れる。理想入社時間が集中していたのは選択肢 2 と 3 に当たるが、それよりもやや後ろ倒しに出社する傾向が、このグラフから読み取れる。

表 4 所要時間のヒストグラム

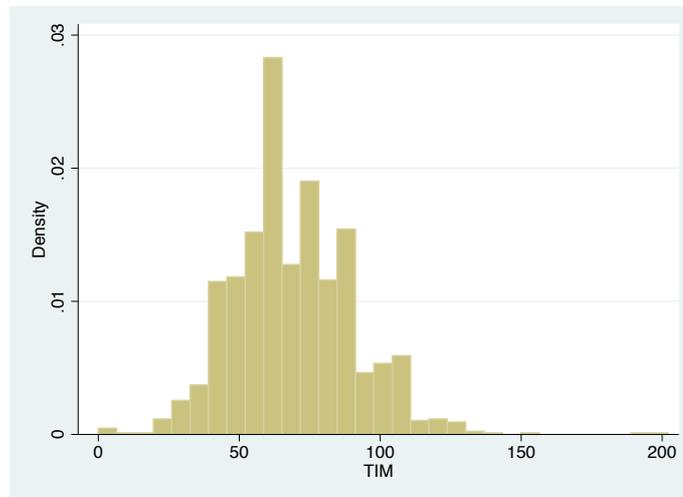


表 5 乗車時間のヒストグラム

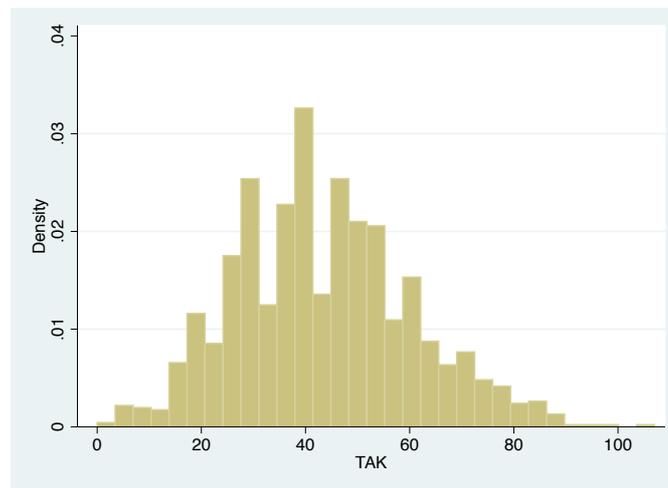


表 6 アクセス時間のヒストグラム

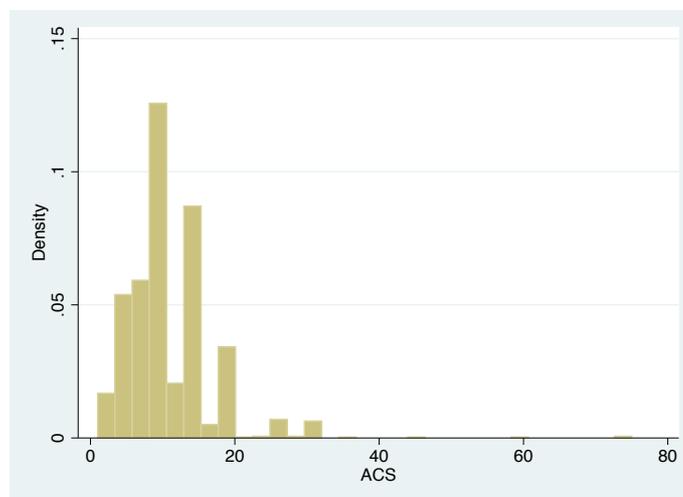
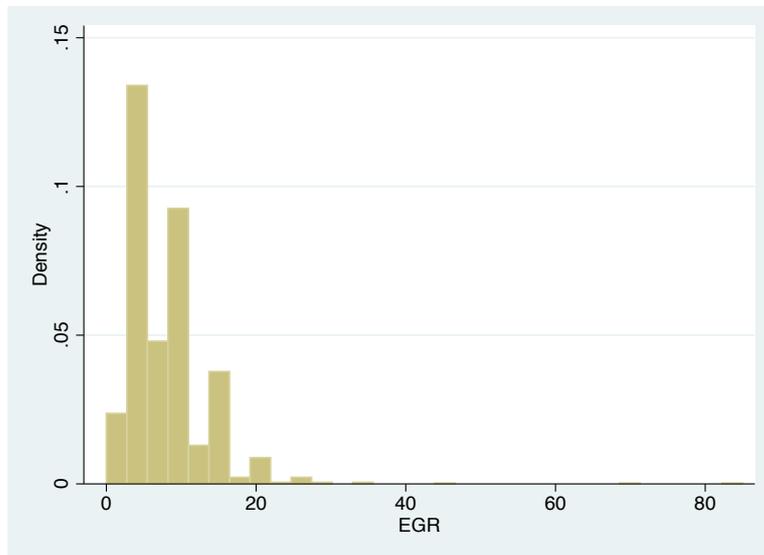


図 4 イグレス時間のヒストグラム



所要・乗車・アクセス・イグレス時間については（中央線快速列車上り方向に絞っているためサンプル数は少ないが）、正規分布形に近似される。ただしアクセス・イグレス時間は所要・乗車時間と比較して分散が小さい。

表 7 バスダミーの度数分布表

BUS	Freq.	Percent	Cum.
0	1,151	87	87
1	172	13	100
Total	1,323	100	

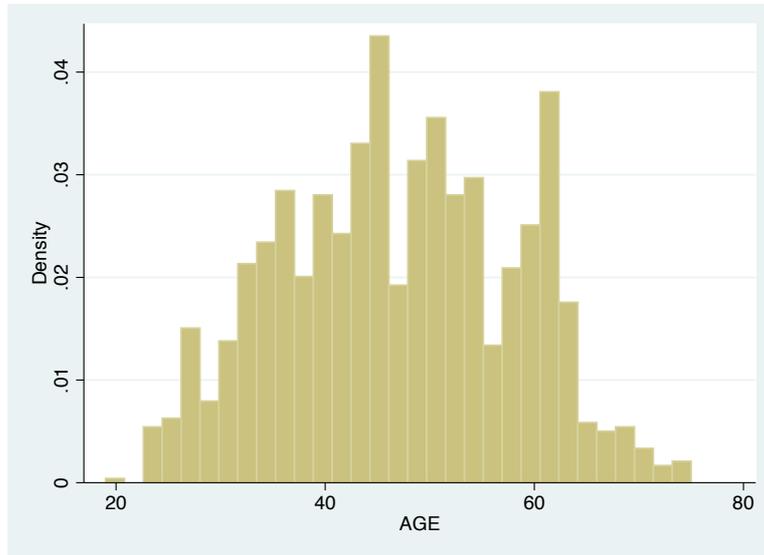
最寄り駅までの移動手段がバスである人の数は、それ以外の人の数の約 6.5 分の 1 であることが分かる。

表 8 始発駅ダミーの度数分布表

STA	Freq.	Percent	Cum.
0	1,086	82.09	82.09
1	237	17.91	100
Total	1,323	100	

最寄り駅に始発列車がある人の数は、ない人の数の約 5 分の 1 であることを示している。

表 9 年齢のヒストグラム



年齢も所要・乗車・アクセス・イグレス時間と同様に、正規分布形に近似される。

表 10 女性ダミーの度数分布表

FEM	Freq.	Percent	Cum.
0	885	66.89	66.89
1	438	33.11	100
Total	1,323	100	

女性通勤者の数は男性通勤者数の約半分であることが分かる。

3-4. パラメータ推定

Alternative specific な説明変数については複数の組み合わせでの推計パターンが考えられ、今回は以下の 5 つのモデルを想定し推計する。

表 11 Alternative specific な説明変数の組み合わせ

Alternative specificな説明変数	model1	model2	model3	model4	model5
CON	○	○	○		
CONSQU	○	○			
CONTAK	○	○	○	○	
CONTAK_SQU	○		○	○	○
ESTCOST	○	○	○	○	○

実際に推計した結果が以下である。

表 12 パラメータ推定結果

	model1	model2	model3	model4	model5
	b/t	b/t	b/t	b/t	b/t
time					
CON	-20.101302 [-21.15]***	-17.346757 [-22.59]***	-1.04569 [-3.71]***		
CONSQU	4.399848 [20.96]***	4.007831 [20.61]***			
CONTAK	0.07868 [6.13]***	0.017945 [5.13]***	-0.021182 [-1.78]*	-0.062876 [-15.56]***	
CONTAK_SQU	-0.000165 [-4.92]***		0.000116 [3.75]***	0.000211 [11.97]***	-0.00005 [-8.84]***
ESTCOS	-0.000239 [-16.12]***	-0.000239 [-16.13]***	-0.000231 [-15.57]***	-0.000233 [-15.76]***	-0.000245 [-16.60]***

2					
TIM	0.014458 [11.90]***	0.01446 [11.91]***	0.014463 [11.87]***	0.014526 [11.92]***	0.01482 [12.11]***
TAK	-0.013243 [-9.60]***	-0.013105 [-9.52]***	-0.013159 [-9.53]***	-0.01279 [-9.30]***	-0.011603 [-8.41]***
ACS	-0.022656 [-11.91]***	-0.022813 [-12.00]***	-0.023019 [-12.16]***	-0.023153 [-12.23]***	-0.023194 [-12.25]***
EGR	0.018122 [9.05]***	0.018064 [9.03]***	0.018128 [9.05]***	0.018087 [9.03]***	0.018512 [9.22]***
BUS	0.300579 [9.89]***	0.302274 [9.94]***	0.306827 [10.11]***	0.306379 [10.09]***	0.298891 [9.85]***
STA	0.034368 [1.19]	0.037741 [1.31]	0.014481 [0.50]	0.017366 [0.60]	0.004305 [0.15]
AGE	-0.001398 [-1.56]	-0.001448 [-1.62]	-0.001476 [-1.65]*	-0.001513 [-1.69]*	-0.001382 [-1.55]
FEM	-0.43362 [-20.92]***	-0.43203 [-20.85]***	-0.437886 [-21.15]***	-0.436624 [-21.09]***	-0.440665 [-21.29]***
Constant	-0.586873 [-11.26]***	-0.589884 [-11.33]***	-0.583698 [-11.23]***	-0.604504 [-11.70]***	-0.714045 [-13.93]***
3					
TIM	0.038217 [30.88]***	0.038236 [30.91]***	0.038278 [30.71]***	0.038406 [30.84]***	0.038918 [31.15]***
TAK	-0.045014 [-30.42]***	-0.0448 [-30.33]***	-0.044646 [-30.10]***	-0.044243 [-29.92]***	-0.043299 [-29.19]***
ACS	-0.043588 [-18.52]***	-0.043807 [-18.62]***	-0.044881 [-19.07]***	-0.044922 [-19.10]***	-0.044662 [-19.03]***
EGR	-0.013318 [-5.67]***	-0.013203 [-5.62]***	-0.013467 [-5.73]***	-0.013309 [-5.66]***	-0.012563 [-5.33]***
BUS	-0.426905 [-10.17]***	-0.421564 [-10.04]***	-0.416066 [-9.91]***	-0.415586 [-9.90]***	-0.441723 [-10.54]***
STA	0.140923 [4.15]***	0.140565 [4.14]***	0.111553 [3.29]***	0.113144 [3.34]***	0.1061 [3.13]***
AGE	0.003505 [3.28]***	0.003375 [3.16]***	0.003592 [3.37]***	0.003384 [3.18]***	0.003191 [3.00]***
FEM	-0.776668 [-29.65]***	-0.772777 [-29.52]***	-0.774741 [-29.60]***	-0.772488 [-29.53]***	-0.783721 [-29.98]***
Constant	-0.889329 [-14.59]***	-0.894836 [-14.69]***	-0.913189 [-15.02]***	-0.934636 [-15.45]***	-1.040651 [-17.31]***

4					
TIM	0.025656 [16.31]***	0.025716 [16.34]***	0.025824 [16.24]***	0.026095 [16.45]***	0.026937 [17.06]***
TAK	-0.0045 [-2.41]**	-0.004078 [-2.18]**	-0.003776 [-2.00]**	-0.003621 [-1.92]*	-0.004505 [-2.40]**
ACS	-0.003277 [-1.19]	-0.003945 [-1.44]	-0.005464 [-1.98]**	-0.005906 [-2.16]**	-0.00585 [-2.18]**
EGR	-0.023721 [-6.26]***	-0.02281 [-6.04]***	-0.022928 [-6.06]***	-0.022612 [-5.98]***	-0.024309 [-6.39]***
BUS	0.818631 [18.82]***	0.833616 [19.23]***	0.836888 [19.27]***	0.840314 [19.36]***	0.793653 [18.29]***
STA	-0.330131 [-6.99]***	-0.342462 [-7.25]***	-0.3644 [-7.70]***	-0.367229 [-7.76]***	-0.345015 [-7.32]***
AGE	0.02288 [15.72]***	0.022713 [15.60]***	0.023056 [15.84]***	0.022813 [15.68]***	0.022838 [15.70]***
FEM	-1.34227 [-29.39]***	-1.339053 [-29.31]***	-1.349696 [-29.50]***	-1.34564 [-29.42]***	-1.355703 [-29.67]***
Constant	-3.731289 [-42.37]***	-3.74945 [-42.56]***	-3.805433 [-43.17]***	-3.817483 [-43.32]***	-3.830656 [-43.68]***
5					
TIM	0.03191 [18.29]***	0.032115 [18.43]***	0.032955 [19.05]***	0.033225 [19.22]***	0.033854 [19.62]***
TAK	-0.045686 [-21.10]***	-0.045995 [-21.23]***	-0.046454 [-21.50]***	-0.046902 [-21.72]***	-0.048068 [-22.34]***
ACS	-0.073508 [-18.41]***	-0.073596 [-18.44]***	-0.074491 [-18.67]***	-0.074424 [-18.66]***	-0.074156 [-18.62]***
EGR	-0.020765 [-5.18]***	-0.020773 [-5.17]***	-0.019118 [-4.84]***	-0.019112 [-4.82]***	-0.017227 [-4.39]***
BUS	-0.87226 [-10.83]***	-0.86571 [-10.76]***	-0.875626 [-10.89]***	-0.874825 [-10.89]***	-0.904143 [-11.26]***
STA	-0.186832 [-3.21]***	-0.195308 [-3.36]***	-0.218311 [-3.76]***	-0.22302 [-3.85]***	-0.220177 [-3.81]***
AGE	0.030402 [18.93]***	0.03028 [18.86]***	0.030225 [18.81]***	0.030007 [18.69]***	0.029567 [18.37]***
FEM	-1.953663 [-33.68]***	-1.944862 [-33.56]***	-1.936747 [-33.44]***	-1.933031 [-33.39]***	-1.946647 [-33.63]***
Constant	-1.726534 [-18.71]***	-1.724261 [-18.67]***	-1.804968 [-19.62]***	-1.79073 [-19.48]***	-1.752414 [-19.19]***

6					
TIM	0.006631 [2.18]**	0.007257 [2.37]**	0.008825 [2.87]***	0.009317 [3.03]***	0.009663 [3.15]***
TAK	-0.040516 [-11.55]***	-0.041652 [-11.80]***	-0.042366 [-11.93]***	-0.043652 [-12.29]***	-0.045234 [-12.84]***
ACS	-0.110412 [-17.00]***	-0.110562 [-17.01]***	-0.110633 [-16.97]***	-0.110494 [-16.94]***	-0.109307 [-16.75]***
EGR	-0.00609 [-1.05]	-0.006609 [-1.14]	-0.006878 [-1.20]	-0.007129 [-1.24]	-0.005579 [-0.99]
BUS	0.226317 [2.73]***	0.227017 [2.74]***	0.235001 [2.84]***	0.229857 [2.79]***	0.20264 [2.45]**
STA	1.144228 [16.50]***	1.129411 [16.32]***	1.091708 [15.91]***	1.082146 [15.79]***	1.078727 [15.79]***
AGE	0.059366 [25.22]***	0.059168 [25.14]***	0.060173 [25.49]***	0.059927 [25.39]***	0.060105 [25.41]***
FEM	-3.138627 [-22.53]***	-3.123656 [-22.44]***	-3.09596 [-22.25]***	-3.089091 [-22.21]***	-3.097947 [-22.28]***
Constant	-2.420381 [-17.35]***	-2.401603 [-17.20]***	-2.529191 [-18.21]***	-2.487752 [-17.97]***	-2.398083 [-17.51]***
N-observ	394824	394824	394824	394824	394824
Wald-Chi2	9052.875713	9032.013232	8708.217753	8697.529861	8503.624412
Log-likeli	-89562.947	-89575.0226	-89787.5707	-89794.4748	-89917.5221

* p<0.1, ** p<0.05, *** p<0.01

ここで Conditional ロジットモデルにおける係数の解釈方法について簡単に述べておくが、解釈可能であるのは符号と値の大小関係のみで、その値自体から意味を見出すことはできない。Alternative specific な説明変数の係数は、限界効果の式より（ここでは詳説しないが）、その符号が正のとき、各選択肢における自己代替効果が正であり交差代替効果が負であることを示す。反対にその符号が負のときは自己代替効果が負であり、交差代替効果が正であることを示す。次に Case specific な説明変数の係数は、その説明変数が増加したときの、基準となる選択肢（ここでは始業時刻より 0 分前～14 分前に出社する選択肢 1）に対する選ばれやすさを示しており、符号が正であれば基準となる選択肢より選ばれやすく、負であるとき選ばれにくい。

また係数の大小もまた、説明変数が増加したときの選択肢の選ばれやすさの大小関係を示している。

既述したように **Alternative specific** な説明変数のパラメータについて想定される符号は全て負であるが、その条件を満たしているのは **model5** のみであるため、以下の議論は全て **model5** に基づくものであり、むしろ限界効果による係数解釈や混雑料金の導出にあたってもその値を用いる。

尚、それぞれの係数の **t 値・P 値** について、一部有意水準 10% の下でも有意でないものは存在するが、9 割以上が有意水準 1% の下で有意であるため、概ね良好な結果が得られたといえる。

3-5. 限界効果による係数解釈

繰り返しになるが **Conditional** ロジットモデルにおいては推定されたパラメータの値自体をそのまま解釈することはできない。したがってここでは、説明変数が 1 単位増加したときに各選択肢の選ばれやすさが何%上昇するかを意味する限界効果による係数の解釈を行う。

ただし **Alternative specific** な説明変数は、混雑率の 2 乗と乗車時間の 2 乗を掛け合わせたものと、理想乖離時間に時間価値を掛け合わせたものであり、1 単位の解釈が難しく、また限界効果を導出する場合はそれぞれの説明変数の数×選択肢の 2 乗個分 ($=2 \times 6^2 = 72$) の数値が導出されるため、今回は **Case specific** な説明変数にのみ限界効果の導出を行った。

表 13 Case specific な説明変数の限界効果

	1	2	3	4	5	6
	dp/dx	dp/dx	dp/dx	dp/dx	dp/dx	dp/dx
TIM	-0.005952	0.000242	0.004225	0.000712	0.000812	-0.00004
TAK	0.005719	0.000559	-0.005062	0.000494	-0.001417	-0.000293
ACS	0.008032	-0.001287	-0.004369	0.00072	-0.002262	-0.000834
EGR	-0.000566	0.00516	-0.002357	-0.001413	-0.00076	-0.000064
BUS	-0.028941	0.074539	-0.071782	0.053339	-0.02843	0.001275
STA	-0.004055	-0.001583	0.016897	-0.017391	-0.008707	0.014838
AGE	-0.001338	-0.001361	7.00E-06	0.001085	0.001082	0.000525
FEM	0.183514	-0.007351	-0.057491	-0.044999	-0.052693	-0.020981

次にこの数値を直感的に判断し、解釈しやすくするためにグラフを用いて説明する。

図 5 Case specific な説明変数の限界効果

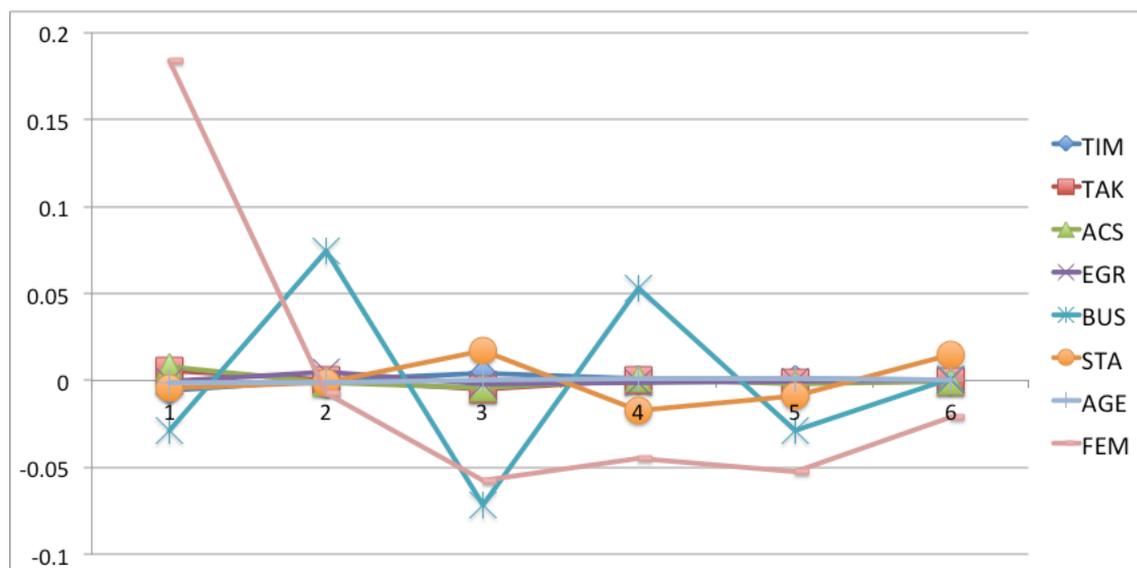


図 4 より、「女性ダミー>バスダミー>始発駅ダミー」の順で選択肢の決定に大きく影響を与えており、それと比較して所要時間・乗車時間・アクセス時間・年齢が選択肢の決定に与える影響は非常に小さいことが分かる。しかしここで注意しなければならないのが、後者 4 つはあくまで 1 単位分（1 分 or 1 歳）の限界効果を表しているため、前者 3 つの 0・1 の値しかとらないダミー変数の限界効果と比較して影響が小さいのは当然であり、このグラフからはどの

ようなトレンドか判断がつかないだけである。以下、個々の変数の限界効果をグラフ化しトレンドを見ることで、解釈を行う。

まずは所要時間・乗車時間の限界効果のグラフを記載する。これらは通勤者の属性変数が1分間上昇したときに、それぞれの選択肢が選ばれる確率がどれだけ上昇するかを表している。

図 6 所要時間の限界効果

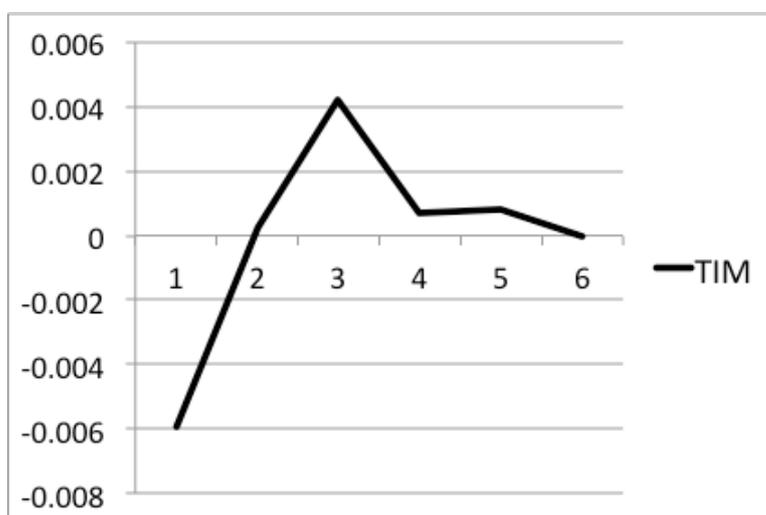
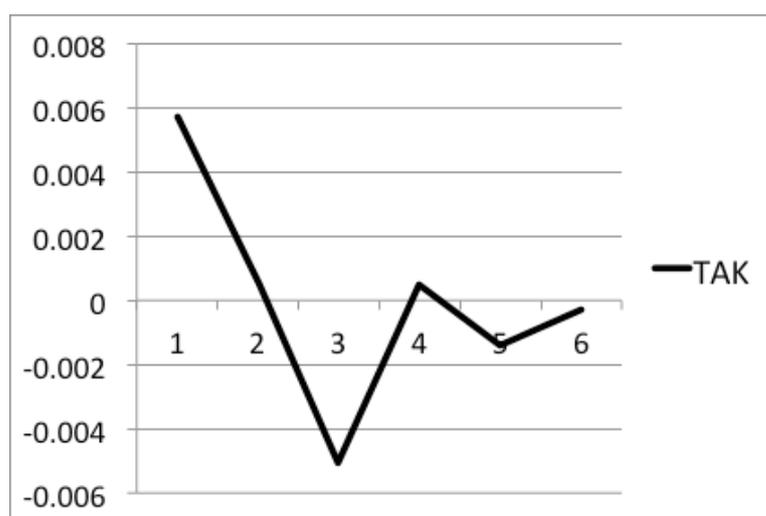


図 7 乗車時間の限界効果



限界効果の絶対値について、最大値は双方約 0.6%である。これは通勤者属性変数が 10 分

延びると、その選択肢が選ばれる確率が約6%高くなることを示している。

次にトレンドについて、所要時間が延びると始業時刻直前（0～14分前）に出社する確率は減少し、余裕を持って（30分以上前）に出社する確率が増加している傾向が見て取れる。反対に乗車時間及びアクセス時間が伸びると0～14分前に出社する確率が増え、それ以前に出社する確率がそれと比較して下がっていることが分かる。したがって所要時間については当初の仮説通りの結果が得られたが、乗車時間については正反対の結果が得られ、課題が残る形となった。

その課題についての仮説は、多重共線性が発生していることである。

表 14 相関係数

	TIM	TAK	ACS	EGR	BUS	STA	AGE	FEM
TIM	1							
TAK	0.7969	1						
ACS	0.2516	0.014	1					
EGR	0.1711	-0.0554	0.0197	1				
BUS	0.0736	-0.0409	0.0542	0.0009	1			
STA	0.3071	0.2529	0.0309	0.0101	-0.0165	1		
AGE	0.1187	0.0688	0.0543	0.0751	0.0417	0.0865	1	
FEM	-0.1623	-0.15	-0.0606	0.0017	0.0146	-0.0815	-0.2601	1

上表から所要時間と乗車時間の相関係数のみ極端に高くなっている傾向が見て取れることから、多重共線性が発生しているとの仮説は比較的支持される。ただし浅野,中村（2009）が主張しているように、多重共線性は一見望ましくない事態のように思われるが、説明変数の相関が高ければ当然個別の変数の効果は判別しにくくなり、データが“弱い”状態にあることを正確に反映したものと解釈することができる。結果を改善するためには新たな情報を導入し、推計に反映することであるが、今回はデータの制約上から何もしない状態が最善の策といえる。いずれかの変数を欠落させると特定化の誤りを起こし、モデル推定の目的自体を放棄することになるため、当然それは行わない。

次にアクセス時間・イグレス時間の限界効果のグラフを記載する。これも同様に通勤者の属性変数が1分間上昇したときに、それぞれの選択肢が選ばれる確率がどれだけ上昇するかを表している。

図 8 アクセス時間の限界効果

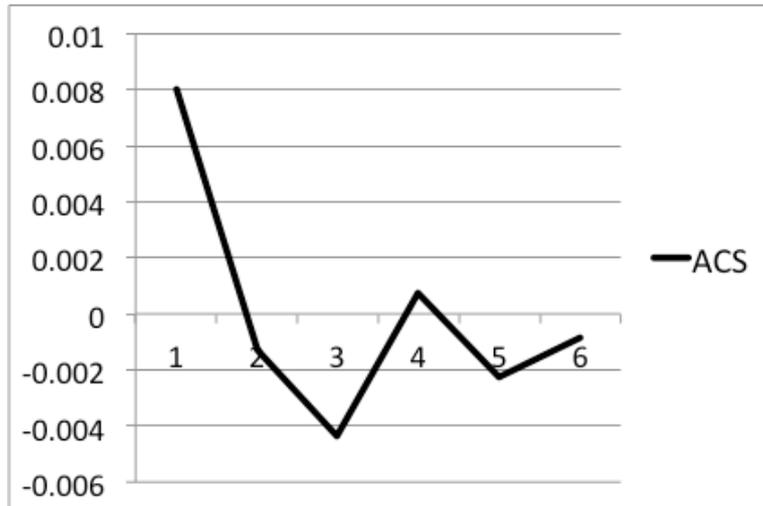
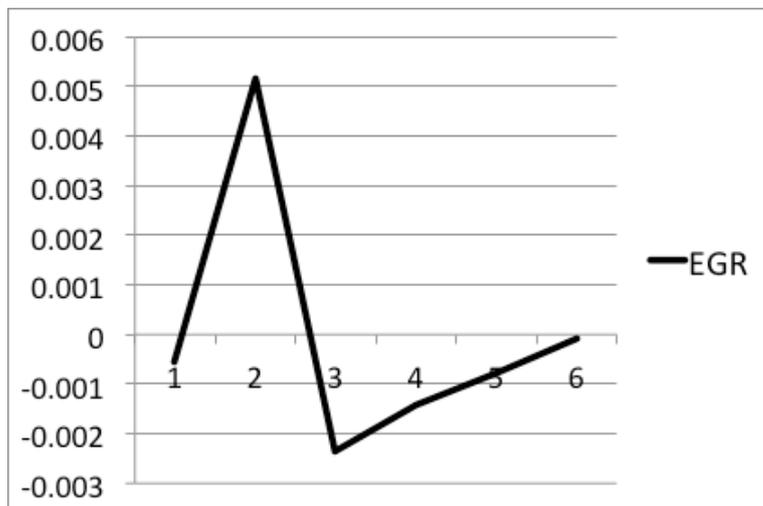


図 9 イグレス時間の限界効果



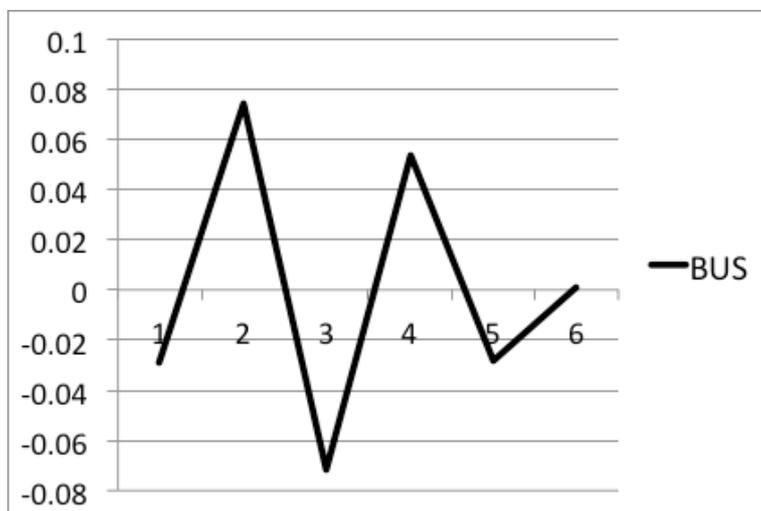
それぞれの限界効果の絶対値について、最大で0.8%、0.5%である。これは通勤者属性変数が10分上昇すると、それぞれ平均で8%、5%その選択肢が選ばれやすくなることを示す。

アクセス時間が延びると始業時刻直前(0~14分前)に出社する確率が上昇し、それ以前(15

分以上前) に出勤する確率が減少している傾向が見て取れる。イグレス時間が延びると 15～29 分前に出勤する確率が増え、それ以前及び以後に出勤する確率がそれと比較して下がっていることが分かる。アクセス時間については乗車時間と同様に当初の仮説と正反対の結果が得られ、イグレス時間については必ずしも仮説が支持されない結果となった。これらについては選択肢の区切り方にも強く影響してくると考えられ、5分・10分で区切った場合は別の結果が得られる可能性もある。

次にバスダミーの限界効果のグラフを記載する。これらは自宅から最寄り駅までもしくは降車駅から勤務先までの移動手段がバス以外である人に対して、バスを利用する人はそれぞれの選択肢を選ぶ確率がどれだけ上昇するかを表している。

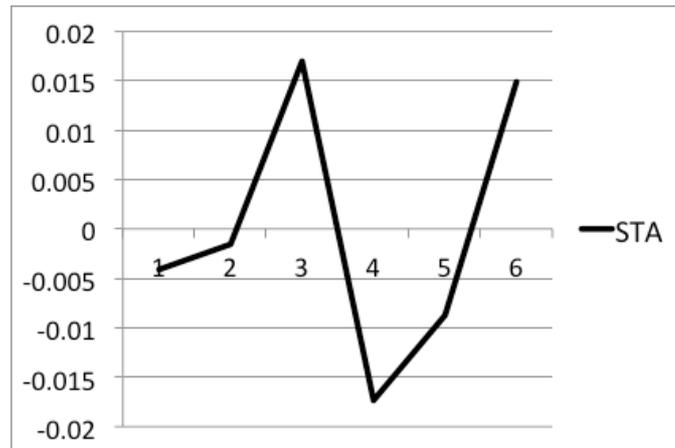
図 10 バスダミーの限界効果



最大の限界効果は 7.5%と比較的大きいが、トレンドについてはホワイトノイズ形に近く、当初の早めに出社する傾向があるという仮説は必ずしも支持されなかった。これについてもアクセス・イグレス時間で記述したように、選択肢の区切り方に影響するものと考えられる。

次に始発駅ダミーの限界効果のグラフを記載する。これは通勤時間帯に最寄り駅に始発列車がない人に対して、始発列車がある人はそれぞれの選択肢を選ぶ確率がどれだけ上昇するかを表している。

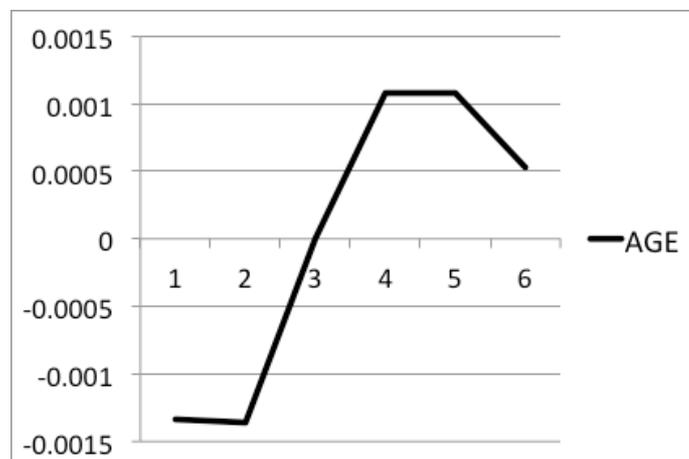
図 11 始発駅ダミーの限界効果



最大の限界効果が約 1.5%で、トレンドについては上記バスダミーのようにホワイトノイズ形に近似された。

次に年齢の限界効果についてグラフ化する。これは通勤者の年齢が1歳増加したことによる、各選択肢の選択確率の増分を表す。

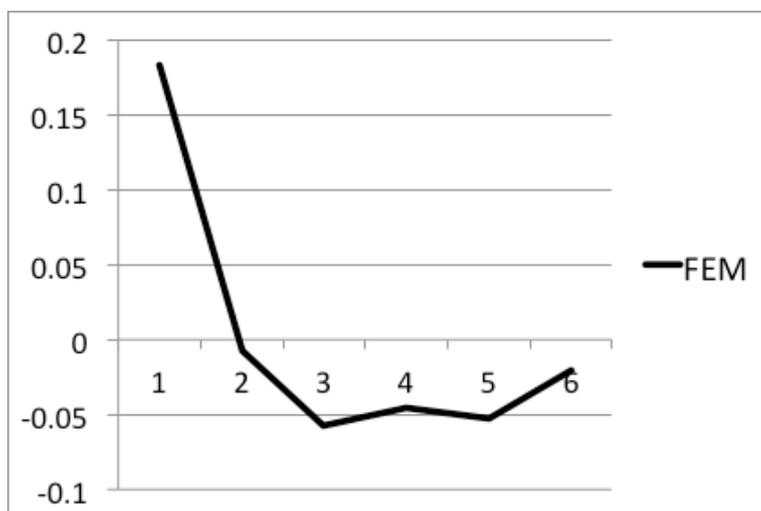
図 12 年齢の限界効果



絶対値の最大値は約 0.1%と極めて小さい値であるが、当初の年齢が高いほど早く起床することに関する不効用が小さく、早めに出社しやすいという仮説が支持されるようなトレンドとなった。

最後に女性ダミーの限界効果をグラフ化する。これは通勤者が女性であることによって、男性と比較したときの各選択肢の選択確率の増分を示している。

図 13 女性ダミーの限界効果



最大の絶対値は約 18%と最も高く、始業時刻の直前 (0~14 分前) に出社しやすいという結果が得られた。当初の仮説は、女性はより混雑を嫌うため理想出社時刻よりも前倒しもしくは後ろ倒しの出社を行いやすいというものであったが、「3-3-2. 記述統計」で見たような後ろ倒しの出社傾向が観測され、仮説は比較的支持された結果といえる。

3-6. 混雑の限界費用

外部不経済効果を導出する前にまずは、混雑率増大による限界費用を算出する必要がある。これはある通勤者にとって、混雑率が 1 ポイント (上記の通勤混雑率の定義より、ここでは

100%となる) 上昇したときの効用の減少分を金銭換算したものである。それは単位が円である理想乖離時間費用で測ったときの混雑率 1 ポイントの価値、すなわち混雑率の理想乖離時間費用に対する限界代替率で表される。

$$MRS_{CON,ESTCOS} = \frac{\partial U_{it} / \partial CON_{it}}{\partial U_{it} / \partial ESTCOS_{it}} \quad (9)$$

更に、既に推計された model5 における変数・パラメータを代入すると以下ようになる。

$$MRS_{CON,ESTCOS} = \frac{2\beta_{CON TAK_SQU} CON_{it} TAK_i^2}{\beta_{ESTCOS}} \quad (10)$$

この混雑における限界費用は、以下 $f(CON_{it}, TAK_i)$ で表すこととする。

3-7. 外部不経済効果の導出

3-7-1. 導出方法

山鹿,八田 (2000) 等にならい、説明の簡略化のためにここでは発車駅 (第 1 駅)・終着駅 (第 0 駅) とともに 1 つの場合について説明する。このとき駅区間混雑率と通勤区間混雑率は同等なものとなるが説明の便宜上、駅区間混雑率を k 、通勤区間混雑率を $k_1(k)$ と区別する。また通過人員を N (人)、通勤時間を x (分) とすると、1%当たりの混雑限界費用は $f(k_1(k), x)$ と表せる。

通過人員が 1 人増えたときの駅区間混雑率の増分は、(7) 式より

$$\frac{dk}{dN} = \frac{1}{K} \quad (11)$$

であり、そして更にその駅区間混雑率の増分が通勤区間混雑率に与える影響は、(8) 式より

$$\frac{dk_1(k)}{dk} = \omega_1 \tag{12}$$

である。したがって、駅区間での通勤者 1 人の増加が通勤区間混雑率に与える影響は、

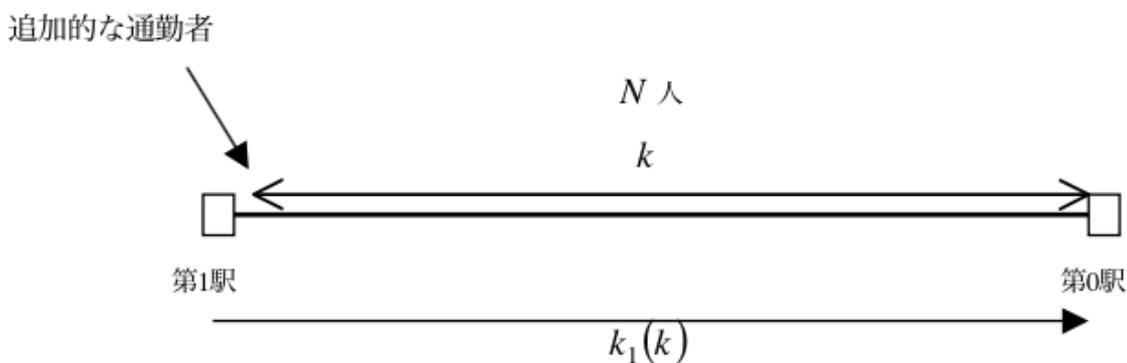
$$\frac{dk_1(k)}{dN} = \frac{dk_1(k)}{dk} \frac{dk}{dN} = \omega_1 \frac{1}{K} \tag{13}$$

である。ようやく外部不経済の総計であるが、第 1 駅からの通勤者が 1 人増えたとき、この通勤区間では $f(k_1(k), x)$ の限界混雑費用関数をもつ N 人の通勤者が移動中であるため、追加的な通勤者が及ぼす外部不経済効果 E は、

$$E = N \cdot f(k_1(k), x) \cdot \omega_1 \frac{1}{K} \tag{14}$$

である。

図 14 外部不経済効果の導出



出典：山鹿,八田 (2000)

同様の考え方が複数の駅区間が存在する一般的な場合にも拡張できるが、その説明は「第 8

章 補論, 8-2. 複数駅区間における外部不経済効果の導出方法」に任せ、ここではその式を記述するまでに留める。

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

$$E_0 = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, I)$$

(15)

実際の混雑料金導出するときはむろん (15) 式を用いて計算している。

3-7-2. 最高混雑時の混雑料金

そして以下が実際に算出した最高混雑時の混雑料金である。

表 15 最高混雑料金の導出

最寄り駅	所要時間 (分)	MRS (円)	混雑料金 (円)	定期料金 (円)	通常料金 (円)	倍率 (混雑/定期)	倍率 (混雑/通常)
中野	20	343	653	109	200	6.00	3.26
高円寺	23	467	750	152	280	4.92	2.68
阿佐ヶ谷	25	557	813	152	280	5.34	2.91
荻窪	27	654	876	152	280	5.75	3.13
西荻窪	30	812	969	196	359	4.95	2.70
吉祥寺	32	929	1029	196	361	5.26	2.85
三鷹	35	1115	1117	196	359	5.70	3.11
武蔵境	38	1169	1202	234	430	5.14	2.80
東小金井	41	1410	1284	234	430	5.49	2.99
武蔵小金井	43	1592	1336	234	430	5.71	3.11
国分寺	47	1932	1436	277	509	5.18	2.82
西国分寺	50	2197	1505	277	509	5.43	2.96
国立	53	2478	1569	277	509	5.66	3.08
立川	56	2760	1626	321	593	5.07	2.74
日野	60	3140	1693	359	659	4.72	2.57
豊田	63	3426	1735	359	659	4.83	2.63
八王子	68	3958	1791	403	740	4.45	2.42
西八王子	73	4507	1829	403	740	4.54	2.47
高尾	76	4803	1841	462	850	3.98	2.17

これは最高混雑時刻（例えば中野～荻窪では 7:50～7:59 までの間）の各駅から東京駅まで通勤したときの所要時間、混雑限界費用、混雑料金、現行の定期料金（6ヶ月通勤定期を購入した場合の1日当たりの片道運賃）、ICカードを利用した場合の通常運賃、倍率（混雑料金/定期料金と混雑料金/通常料金の2通り）が記載されている。したがって限界運営費用を除いたとしても現行定期料金よりも約6倍から4倍の運賃を徴収する必要があることが示されている。また通常料金と比較しても約3倍から2倍の運賃を徴収すべきとの結果から、総括原価主義に立つ通勤定期料金制の内、通勤運賃割引は混雑率の上昇に寄与していると解釈できる。

3-7-3. 各駅の混雑料金の推移

次に各駅から東京駅までの、時刻別の混雑料金を以下の図で示す。

図 15 各駅の混雑料金の推移

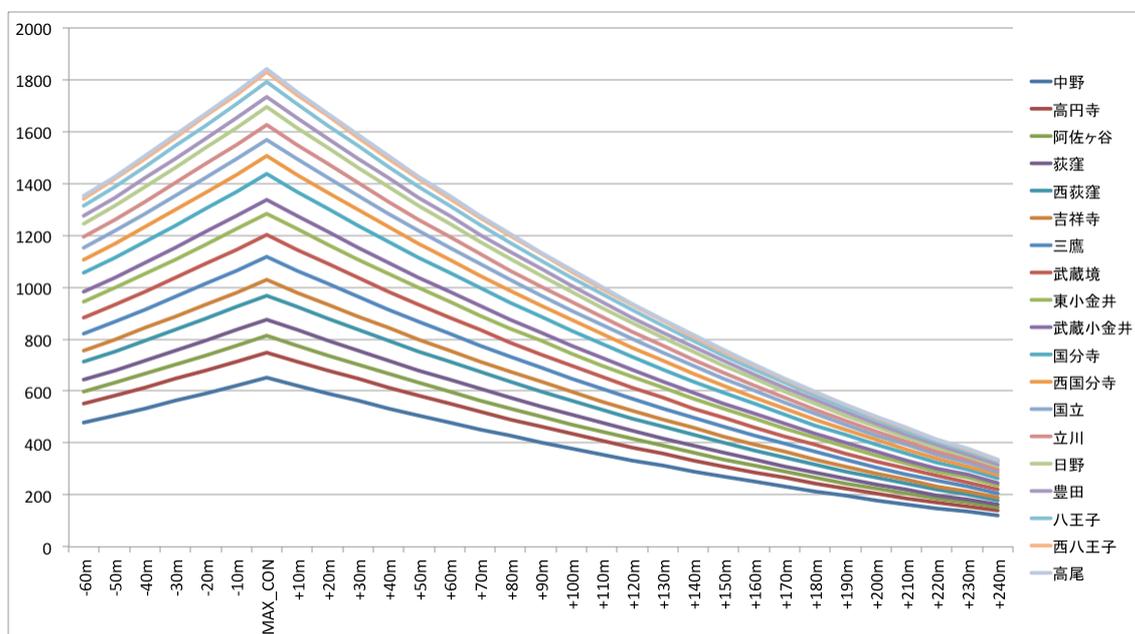


図 13 について、横軸の MAX_CON は各駅の最混雑時間（本研究では、中野～荻窪で 7:50～7:59、西荻窪～武蔵境で 7:40～7:49、東小金井～国分寺で 7:30～7:39、西国分寺～立川で 7:20～8:29、日野～八王子で 7:10～7:19、西八王子・高尾が 7:00～7:09）を表しており、10

分ごとにメモリを区切っている。そして縦軸は言うまでもなく、各時間に対応する混雑料金を表している。

各駅で最混雑時間に最高混雑料金が課され、混雑が下がるにつれて（本研究では5%ずつ下がると仮定している）混雑料金が下がっている傾向が見てとれる。

他に見られる傾向としては郊外方面へ行けば行くほど混雑率が下がったときの混雑料金の下落幅が大きく、結果として混雑率が下がり続けると、オフピーク時の郊外と都心の混雑料金に違いはオンピーク時と比較して非常に少ないことが見て取れる。これは混雑率が極端に低いと通勤時間の長い郊外であっても、混雑自体から受ける不効用はそれほど変わらないことから当然の帰結である¹²。

尚、中野駅では最高混雑時刻（7:50～7:59）の混雑料金が653円で、1時間後（8:50～8:59）では480円、2時間後（9:50～9:59）では333円、3時間後（10:50～10:59）では214円、4時間後では（11:50～11:59）では120円となっている。最混雑時とその2時間後では料金が約半分となっており320円も違う。

高尾駅では最混雑時間（7:00～7:09）の混雑料金が1,841円で、1時間後（8:00～8:09）では1,351円、2時間後（9:00～9:09）では937円、3時間後（10:00～10:09）では599円、4時間後では（11:00～11:09）では366円となっている。最混雑時からその2時間後には料金が半分以下となっており、約900円も違う。

中野駅の例にしても高尾駅の例にしてもやはり、どの時間帯に通勤しても一律の運賃を課すという現在の通勤定期料金制は、最適混雑を達成する混雑料金の観点からは望ましくないことがいえる。

¹² 本来は混雑率が下落し続けたとき、ある点を超えたら混雑による不効用は一切存在しなくなるが、それについて本研究モデルでは定式化されていない。したがって図13では混雑料金が200円前後のところまで収束傾向にあるが、本来は全て0円に収束しなければならない。

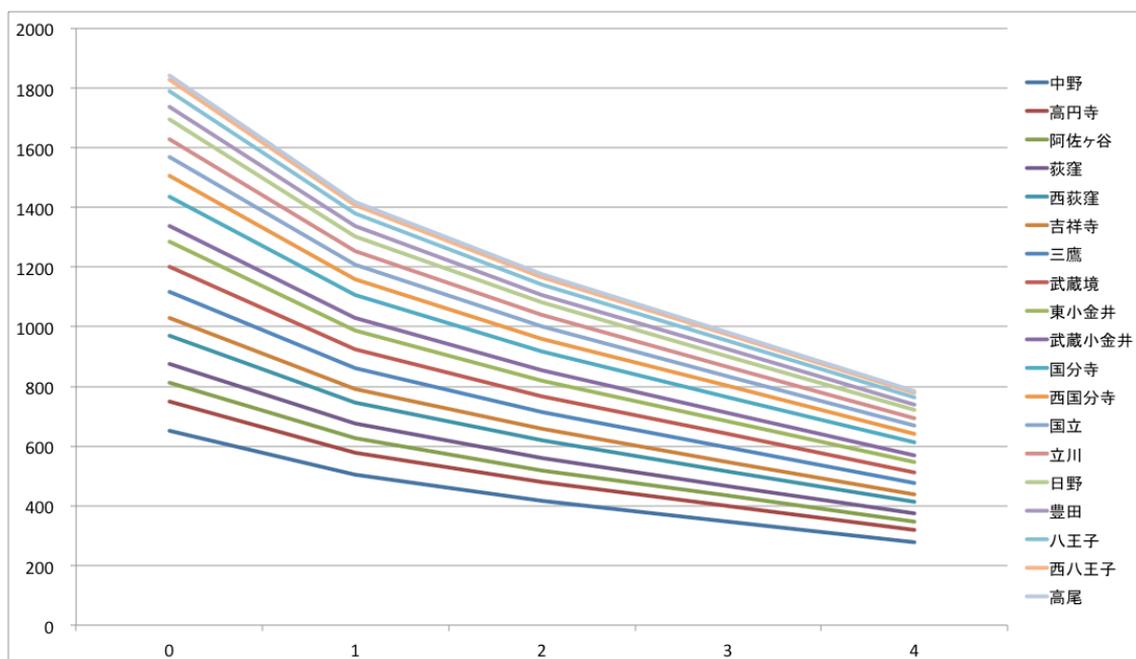
第4章 感度分析

4-1. 概要

所得接近法では一般に高めに推計されているとされる通勤の時間費用を感度分析の対象とする。これは混雑の限界費用を金銭換算するために、理想乖離時間1分当たりの費用として用いているため、具体的な混雑料金の値に影響を及ぼす。したがって本章では以下で述べる4通りの感度分析を行い、郊外方面の各駅から東京駅までの最混雑時間の混雑料金及び時刻別の混雑料金の推移を導出する。

「第3章 最適混雑料金の導出」では、「鉄道プロジェクトの評価手法マニュアル（2012年改訂版）」の記述にある、東京都における平均賃金47.0円/分を用いた。本章では感度分析1としてまず、同マニュアルにある全国の平均賃金36.2円/分を用いて推計し、次に感度分析2・3・4をそれぞれ30.0円/分・25.0円/分・20.0円/分で行う。

図16 最高混雑料金の推移



上図について、横軸の0は3章の分析結果を指し、1・2・3・4はそれぞれの感度分析結果

を指す。縦軸はそれぞれの最高混雑料金を表すが、時間価値を低く設定するほど混雑料金が下がるといった当然の傾向が読み取れる。また3章分析結果との倍率で表すと以下の表のようになる（これは全駅・全時間帯共通である）。

表 16 3章分析結果との倍率

	感度分析1	感度分析2	感度分析3	感度分析4
倍率(感度/3章)	0.77	0.64	0.53	0.43

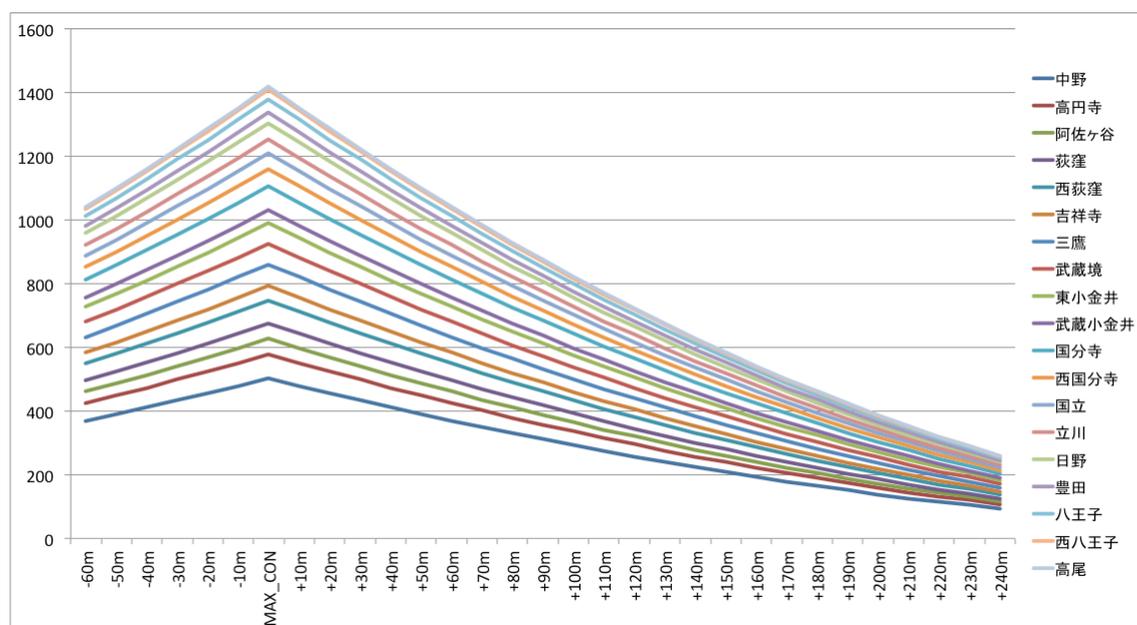
詳細は次節から分析していく。

4-2. 感度分析 1

表 17 感度分析 1 における最高混雑料金

最寄り駅	MRS (円)	混雑料金 (円)	定期料金 (円)	通常料金 (円)	倍率 (混雑/定期)	倍率 (混雑/通常)
中野	264	503	109	200	4.62	2.51
高円寺	360	577	152	280	3.79	2.06
阿佐ヶ谷	429	627	152	280	4.11	2.24
荻窪	504	675	152	280	4.43	2.41
西荻窪	626	746	196	359	3.81	2.08
吉祥寺	715	793	196	361	4.05	2.20
三鷹	859	860	196	359	4.39	2.39
武蔵境	900	926	234	430	3.96	2.15
東小金井	1086	989	234	430	4.23	2.30
武蔵小金井	1226	1029	234	430	4.40	2.40
国分寺	1488	1106	277	509	3.99	2.17
西国分寺	1692	1159	277	509	4.18	2.28
国立	1908	1208	277	509	4.36	2.37
立川	2126	1253	321	593	3.90	2.11
日野	2418	1304	359	659	3.63	1.98
豊田	2638	1336	359	659	3.72	2.03
八王子	3048	1379	403	740	3.43	1.86
西八王子	3471	1409	403	740	3.50	1.90
高尾	3699	1418	462	850	3.07	1.67

図 17 感度分析 1 における混雑料金の推移



理想乖離時間を1分当たり36.2円の価値があるとした場合の結果である。47.0円と仮定した3章の分析結果と比較して混雑料金は約0.77倍と下がっている。しかし1分当たりの時間価値が10円以上下がったにもかかわらず、混雑料金は定期料金の約4.5倍から3倍、通常料金の約2.5倍から1.5倍と相変わらず高いままである。

混雑料金の時刻別推移について、動向は3章の分析とみて変わりはなく0.77倍下方シフトしている。

中野駅では最高混雑時刻(7:50~7:59)の混雑料金が503円で、1時間後(8:50~8:59)では369円、2時間後(9:50~9:59)では257円、3時間後(10:50~10:59)では164円、4時間後では(11:50~11:59)では93円となっている。最混雑時とその2時間後では246円違う。

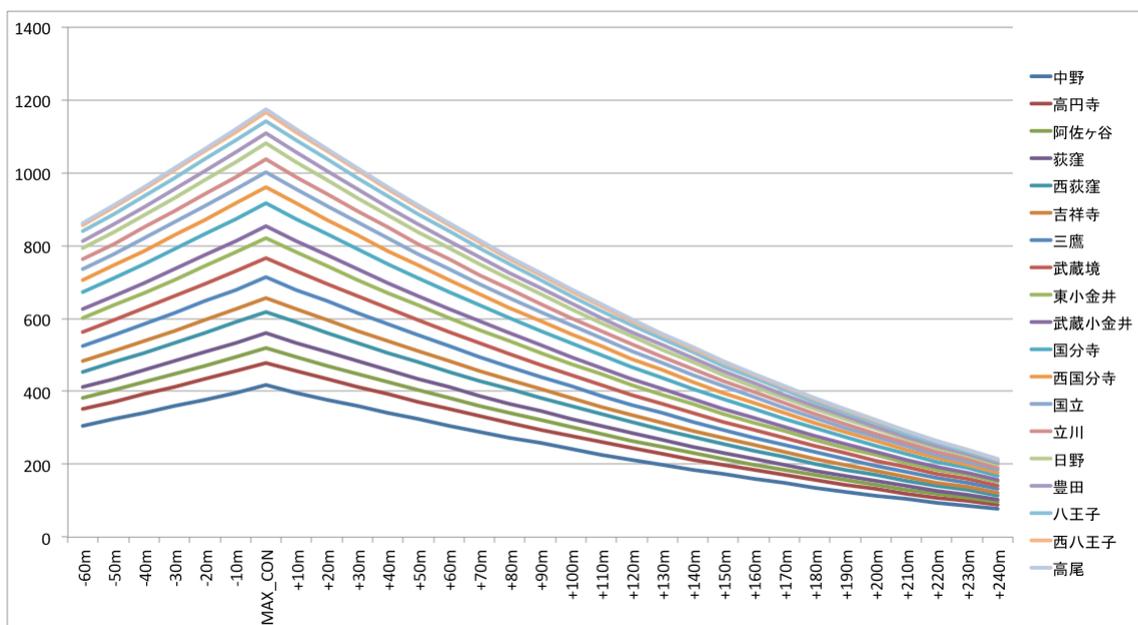
高尾駅では最混雑時間(7:00~7:09)の混雑料金が1,418円で、1時間後(8:00~8:09)では1,041円、2時間後(9:00~9:09)では722円、3時間後(10:00~10:09)では461円、4時間後では(11:00~11:09)では259円となっている。最混雑時とその2時間後では696円違う。

4-3. 感度分析 2

表 18 感度分析 2 における最高混雑料金

最寄り駅	MRS (円)	混雑料金 (円)	定期料金 (円)	通常料金 (円)	倍率 (混雑/定期)	倍率 (混雑/通常)
中野	219	417	109	200	3.82	2.08
高円寺	298	478	152	280	3.15	1.71
阿佐ヶ谷	356	519	152	280	3.42	1.86
荻窪	418	559	152	280	3.68	2.00
西荻窪	518	618	196	359	3.16	1.72
吉祥寺	593	657	196	361	3.35	1.82
三鷹	712	713	196	359	3.64	1.98
武蔵境	746	767	234	430	3.28	1.79
東小金井	900	820	234	430	3.50	1.91
武蔵小金井	1016	853	234	430	3.65	1.99
国分寺	1233	917	277	509	3.31	1.80
西国分寺	1402	961	277	509	3.47	1.89
国立	1582	1002	277	509	3.62	1.97
立川	1762	1038	321	593	3.23	1.75
日野	2004	1081	359	659	3.01	1.64
豊田	2187	1108	359	659	3.09	1.68
八王子	2526	1143	403	740	2.84	1.54
西八王子	2877	1168	403	740	2.90	1.58
高尾	3066	1175	462	850	2.54	1.38

図 18 感度分析 2 における混雑料金の推移



理想乖離時間を1分当たり30.0円の価値があるとした場合の結果である。3章の分析結果と比較して混雑料金は約0.67倍と下がって、混雑料金は定期料金の約4倍から2.5倍、通常料金の約2から1.5倍とこちらも相変わらず高いままである。

混雑料金の時刻別推移について、0.64倍下方シフトしている。

中野駅では最高混雑時刻(7:50~7:59)の混雑料金が417円で、1時間後(8:50~8:59)では306円、2時間後(9:50~9:59)では213円、3時間後(10:50~10:59)では136円、4時間後では(11:50~11:59)では77円となっている。最混雑時とその2時間後では204円違う。

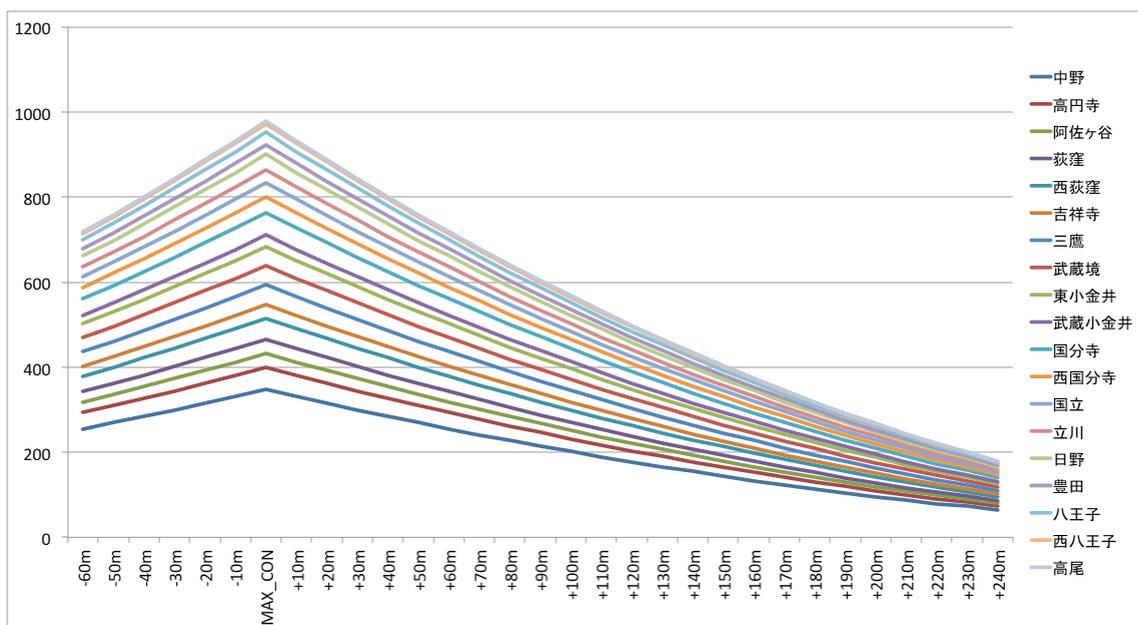
高尾駅では最混雑時間(7:00~7:09)の混雑料金が1,175円で、1時間後(8:00~8:09)では862円、2時間後(9:00~9:09)では598円、3時間後(10:00~10:09)では382円、4時間後では(11:00~11:09)では214円となっている。最混雑時とその2時間後では577円違う。

4-4. 感度分析 3

表 19 感度分析 3 における最高混雑料金

最寄り駅	MRS (円)	混雑料金 (円)	定期料金 (円)	通常料金 (円)	倍率 (混雑/定期)	倍率 (混雑/通常)
中野	183	347	109	200	3.18	1.74
高円寺	248	399	152	280	2.62	1.43
阿佐ヶ谷	296	433	152	280	2.85	1.55
荻窪	348	466	152	280	3.07	1.67
西荻窪	432	515	196	359	2.63	1.43
吉祥寺	494	547	196	361	2.79	1.52
三鷹	593	594	196	359	3.03	1.65
武蔵境	622	639	234	430	2.73	1.49
東小金井	750	683	234	430	2.92	1.59
武蔵小金井	847	711	234	430	3.04	1.65
国分寺	1027	764	277	509	2.76	1.50
西国分寺	1168	801	277	509	2.89	1.57
国立	1318	835	277	509	3.01	1.64
立川	1468	865	321	593	2.69	1.46
日野	1670	901	359	659	2.51	1.37
豊田	1822	923	359	659	2.57	1.40
八王子	2105	952	403	740	2.36	1.29
西八王子	2397	973	403	740	2.41	1.31
高尾	2555	979	462	850	2.12	1.15

図 19 感度分析 3 における混雑料金の推移



理想乖離時間を 1 分当たり 25.0 円の価値があるとした場合の結果である。3 章の分析結果と比較して混雑料金は約 0.53 倍と下がり、混雑料金は定期料金の約 3 倍から 2 倍、通常料金の 1.74 倍から 1.15 倍とこちらも相変わらず高いままである。

混雑料金の時刻別推移について、0.53 倍下方シフトしている。

中野駅では最高混雑時刻（7:50～7:59）の混雑料金が 347 円で、1 時間後（8:50～8:59）では 255 円、2 時間後（9:50～9:59）では 177 円、3 時間後（10:50～10:59）では 114 円、4 時間後では（11:50～11:59）では 64 円となっている。最混雑時とその 2 時間後では 170 円違う。

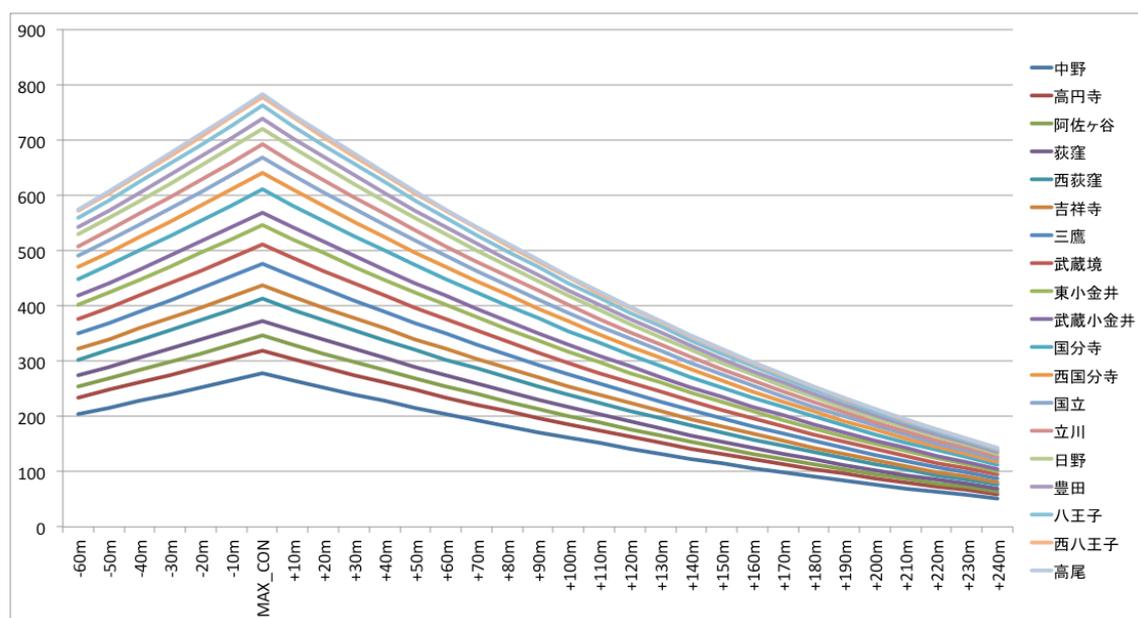
高尾駅では最混雑時間（7:00～7:09）の混雑料金が 979 円で、1 時間後（8:00～8:09）では 719 円、2 時間後（9:00～9:09）では 498 円、3 時間後（10:00～10:09）では 318 円、4 時間後では（11:00～11:09）では 178 円となっている。最混雑時とその 2 時間後では円違う。

4-5. 感度分析 4

表 20 感度分析 4 における最高混雑料金

最寄り駅	MRS (円)	混雑料金 (円)	定期料金 (円)	通常料金 (円)	倍率 (混雑/定期)	倍率 (混雑/通常)
中野	146	278	160	200	1.74	1.39
高円寺	199	319	223	280	1.43	1.14
阿佐ヶ谷	237	346	223	280	1.55	1.24
荻窪	278	373	223	280	1.67	1.33
西荻窪	346	412	287	359	1.44	1.15
吉祥寺	395	438	287	361	1.52	1.21
三鷹	474	475	287	359	1.65	1.32
武蔵境	498	512	343	430	1.49	1.19
東小金井	600	546	343	430	1.59	1.27
武蔵小金井	677	569	343	430	1.66	1.32
国分寺	822	611	407	509	1.50	1.20
西国分寺	935	641	407	509	1.57	1.26
国立	1054	668	407	509	1.64	1.31
立川	1175	692	471	593	1.47	1.17
日野	1336	721	527	659	1.37	1.09
豊田	1458	738	527	659	1.40	1.12
八王子	1684	762	590	740	1.29	1.03
西八王子	1918	778	590	740	1.32	1.05
高尾	2044	783	678	850	1.16	0.92

図 20 感度分析 4 における混雑料金の推移



理想乖離時間を1分当たり20.0円の価値があるとした場合の結果である。3章の分析結果と比較して混雑料金は約0.43倍と下がって、混雑料金は定期料金の1.74倍から1.16倍、通常料金の1.39倍から0.92倍とようやく郊外側では混雑料金が現行の定期料金に近づきつつあり通常料金を下回っているが、混雑料金というのはあくまで外部不経済効果であり、限界運営費用を一切含んでいないことを忘れてはいけない。したがって「第1章 序論」で述べたように、本来課されるべき運賃は混雑料金に限界運営費用を足し合わせたものであるため、理想乖離時間1分当たりの時間価値を20円と極端に低く仮定しても、あるべき料金が現行の定期料金を下回ることはない。

混雑料金の時刻別推移について、0.43倍下方シフトしている。

中野駅では最高混雑時刻（7:50～7:59）の混雑料金が278円で、1時間後（8:50～8:59）では204円、2時間後（9:50～9:59）では142円、3時間後（10:50～10:59）では91円、4時間後では（11:50～11:59）では51円となっている。最混雑時とその2時間後では136円違う。

高尾駅では最混雑時間（7:00～7:09）の混雑料金が783円で、1時間後（8:00～8:09）では575円、2時間後（9:00～9:09）では399円、3時間後（10:00～10:09）では255円、4時間後では（11:00～11:09）では143円となっている。最混雑時とその2時間後では384円違う。

第5章 結論

5-1. 分析結果

本研究では通勤者の出社時刻選択行動を、通勤者の属性の他、各選択肢の混雑率や理想出社時刻からの乖離時間等で説明し、理想乖離時間1分当たりの価値については5通りの仮定の下、中央線郊外方面の各駅から東京駅までの最高混雑料金及び、混雑料金の時刻別推移を導出した。

得られた結果をここで再びまとめると、まず最高混雑料金について、理想乖離時間1分当たりの価値を東京都の平均賃金（47.0 円/分）で置き換えた最も値段が高い仮定では、混雑料金だけで、現行の定期料金よりも約6倍から4倍の徴収が必要という結果が得られた。また理想乖離時間1分当たりの価値を20.0円と最も安い仮定を置いた感度分析4でも最高混雑料金が現行定期料金の1.74倍から1.16倍と、現行の定期料金制の運賃割引が支持されることはなかった。またこれらはいずれも限界運営費用を除いた混雑料金のみによる額であり、それを加味すると現行の通勤定期料金制による、通勤割引料金は混雑率の上昇に寄与していると解釈できる。

次に各駅の時刻別混雑料金の推移についてであるが、まず最混雑時刻に最高混雑料金が課され、そこを頂点として混雑料金が下がっているという当然の傾向が見てとれた（本研究では混雑率の分布をそのように仮定しているため）。また郊外方面へ行けば行くほど混雑率が下がったときの混雑料金の下落幅が大きく、結果として混雑率が下がり続けるとある料金付近に収束傾向にあることが見て取れた。これは混雑率が極端に低いと通勤時間の長い郊外であっても、混雑自体から受ける不効用はそれほど変わらないという結果と整合的である。高尾駅の例では最混雑時刻（7:00～7:09）の混雑料金が1,841円で、1時間後（8:00～8:09）では1,351円、2時間後（9:00～9:09）では937円、3時間後（10:00～10:09）では599円、4時間後では（11:00～11:09）では336円というように推移しており、最混雑時からその2時間後には料金が約半

分の 904 円も違う。因みに最も料金差の少ない感度分析 4 においても高尾駅の混雑料金は 2 時間で 384 円変動する。以上のような例から、どの時間帯に通勤しても一律の通勤定期料金を課すという現在の料金体系は、最適混雑を達成する混雑料金の観点からは望ましくないということがいえる。

5-2. 政策的インプリケーション

以上の分析結果から得られた政策的インプリケーションをまとめる。

第一に通勤定期料金制を廃止すべきである。これには運賃の割引という面と、一律制という 2 つの面で問題がある。そもそも通勤ラッシュが起こるのであればその時間帯に高い料金が課されるのは、効率的な資源配分が行われるよう価格メカニズムにしたがうと当然の結果であるのに対し、定期券による一律の通勤割引料金を適用するというのはおかしな話である。実際に本研究では、最混雑時間帯の混雑料金は現行の定期料金の約 6 倍から 4 倍という値が得られ、感度分析で時間価値を極端に低く見積もっても混雑料金は現行の定期料金を下回らないという結果が出た。

第二に通勤手当に対する非課税枠 10 万円は高すぎであり、引き下げるべきである。なぜならば時間価値を最も高く見積もった場合における、高尾駅から東京駅までの 1 ヶ月分の混雑料金でさえ $1,841 \times 2 \times 22 = 81,004$ (円) と非課税枠を超えることはない。このように最も高い定期料金ですら非課税枠に収まってしまうと、混雑料金の導入によって職住近接が促されるということはなく、通勤者の自発的な通勤時間帯の分散にも歯止めがかかってしまう。したがって非課税枠は従来 (1997 年まで) の 5 万円に戻すこと、もしくは完全撤廃してしまうことが混雑の解消という面からは望ましいといえる。

第6章 展望

本研究における展望として、今後の研究課題を中心に述べる。

まず今回は混雑料金の導出に焦点を絞ったが、限界運営費用については一切導出を行っていない。また混雑料金の導出においても、混雑率がある水準を下回った時点で外部不経済効果は一切発生しなくなるはずであるが、本研究モデルにおいてはそれが定式化されておらず、混雑率が低い時間帯の混雑料金の信頼度は低い。そして今回は JR 中央線を代表的路線としたが、実際には首都圏全体ネットワークで考慮されなければならない、3次元ネットワーク（2次元鉄道ネットワークに時間を加えたもの）で混雑料金を導出する方法も開発されなければならない。以上の3点について解決しない限りは、本研究で提案しているような通勤鉄道の多段階料金制の導入に至ることはなく、確実に解決すべき課題である。

またデータの不備について、今回用いた混雑率のデータには外生的な仮定を複数用いた。平均混雑率 150%以下という数値目標が適正か否かは置いておくにしても、国が具体的な数値目標を掲げているのに対し、存在する混雑率のデータの少なさに驚かされた。混雑率の測定方法については、目視測定や応荷重装置を利用した測定、OD 調査を利用したもの等様々な測定方法が存在している¹³わけであることから、それぞれの測定方法で誤差を調整しあい、より正確で広範囲な混雑率データの整備は早急に行われるべきである。また先行研究では中央線快速列車と各駅停車列車の混雑率が平均化されていたことは既に述べたが、その2つの混雑率は明らかに異なる。混雑料金徴収の際に空いている各駅停車列車に乗車していた人、すなわち何ら外部不経済を発生させていない人に対して降車時に混雑料金を支払わせるのは反感を買うであろうし、混雑している快速列車の混雑抑止力としての効果も減少する。したがって混雑率は路線・時間帯だけではなく、路線・列車種別・時間帯ごとに計測されるべきであり、混雑料金の

¹³ 加藤（2005）が詳しい。

徴収の際にどの種別の列車を利用したかを判断できるような仕組みも構築されなければならない（延いては車両ごとに異なる混雑料金を課して、車両ごとの混雑の分散ということも可能になるかもしれない）。

また今回は理想乖離時間 1 分当たりの時間価値として、賃金率を利用した。通勤費の会社負担に加えて、運賃は一定であることからやむを得ない仮定であったが、感度分析で検証したようにこの値によって混雑料金は大きく変わる。また実際に混雑料金が導入された際はその時刻別運賃を用いて効用を金銭換算できることから、アンケート調査や社会的実験等を通じてより正確な値が得られるであろう。

そして本研究で設定したモデルの最大の欠点は、出社時刻の選択と混雑率には双方向性が存在することである。それはつまり、本モデルが想定しているような混雑率が高いことによってその選択肢が選択されないという関係も確かに存在するが、選択されることによってその選択肢の混雑率が高くなっているという関係も存在することである。これについては最も混雑を引き起こす、9 時に始業時刻を持つデータを用いずに、8 時・10 時に始業時刻を持つデータを用いて、混雑を避けてその選択肢を選択しないという関係を強調することによって対応可能であったかもしれない。

そして実際に混雑料金制を導入するにあたる展望であるが、JR の運賃体系を私鉄にも適用することが望ましい。一般に私鉄の運賃は JR のそれと比べて安く、特に定期料金では際立って安い例が多い。本研究では JR 中央線の例を東京の代表的路線と仮定して用いたが、現行の私鉄料金体系においては混雑料金と定期料金の倍率は更に大きなものとなると考えられる。したがって JR 路線だけではなく私鉄路線にも同様な料金体系を導入することで、混雑料金が導入された際に私鉄路線が極端に混雑するということは避けられるようにしておかなければならない。しかし私鉄運賃は鉄道以外の不動産収入と合わせた最適化によって決定される。した

がってベース運賃の引き上げというのは私鉄運営会社にとって必ずしも望ましいものではないため、時刻別課金制の導入から行うなどの次善の策としての対応が必要と考えられる。

最後に、本最終報告書では通勤定期による一律運賃割引の撤廃を主張しているが、学生に対する運賃体系は別の議論として行わなければならない。学生定期が撤廃され学生にも混雑料金が課されてしまうと、例えば比較的時間帯の組み方の自由度が高い大学生には、出席するためには混雑税が課される午前中の授業を避ける誘因が生まれ、結果として大学側も授業を午後の時間帯に集中させざるを得なくなるであろう。このように、交通事情によって教育システムに影響が及ぼされるのは確かであり、労働システムに及ぼされる影響と区別されるべきであるのかどうかというのは簡単な問題ではない。

第7章 謝辞

本最終報告書を仕上げるにあたって、鉄道総合技術研究所の交通計画研究室の方々、特に受け入れ担当者となっていたいただいた奥田大樹様には何度も有益なご意見・ご指摘を頂いた。心より感謝を申し上げます。皆様から頂いたものを少しでも多く世の中に還元し続けることで、生涯に渡って恩返しをしなければいけないと考えている。

またコンサルティング・プロジェクトの責任者である山重慎二准教授にも発表の度に有益な意見を頂いた。そして本最終報告書は筆者の修士論文に基づくものであるが、主指導教官の北村行伸教授及び、副指導教官の山内弘隆教授にはテーマ設定、データの取り寄せから統括まで惜しみない指導を頂いた。そして筆者が学部生であった頃から研究指導をしていただいている、東京理科大学経営学部非常勤講師の森岡拓郎先生には特にモデル設定の際に、引き続きお世話になった。

最後になってしまったが私の研究に対して活発な議論を展開してくれたゼミのメンバーをはじめ、そして日頃の会話の中で多様な意見をくれた多くの仲間達にも厚く感謝を申し上げたい。

本研究に関わっていただいた皆様の内、1人でも欠けてしまっても本最終報告書の完成はあり得なかった。言うまでもなく本最終報告書における誤りがあれば、それらは全て筆者本人に帰するものである。

第8章 補論

8-1. 大都市交通センサス利用者からの要望

まずは本研究を通して、筆者が大都市交通センサス「鉄道定期券・普通券等利用者調査」の調査項目で加えるべきであると感じた点について述べる。1つ目は通勤者の勤務形態や業種である¹⁴。本研究では理想入社時刻を始業時刻別の平均入社時間と仮定したが、ここでいう始業時刻は、フレックスタイム制の通勤者にとってはコアタイム開始時刻を表しており、始業時刻固定制通勤者における始業時刻とは意味合いが異なる。本来は通勤する企業の勤務形態と業種別という要素も取り込んだ平均入社時刻で仮定されるべきであり、2010年調査ではどちらも区別できていない。以上のような理由から、勤務形態及び業種という通勤者の入社時刻選択行動に影響を及ぼすデータは調査されるべきであり、マイクロデータの不均一性への対応を可能とする。2つ目に家族構成や起床時刻である。双方とも入社時刻選択行動について影響を及ぼす、それぞれ *Case specific*・*Alternative specific* な説明変数である。

次にデータ整備状況について感じたことを述べる。第1に時間の記述について、時と分を同一セルにまとめ、3桁もしくは4桁で表すという形になっているが(例えば9時05分だと905、15時35分だと1535)、1つのセルに入るのは1つの情報に徹底されるべき考えている。このような入力方法だと視覚的には判断できるが膨大なデータを分析の値として用いるときは、ソフトウェアはそのままの値を時刻として認識はできず、差分をとっても意味をなさないことから加工せざるを得ない。時と分のセルを分けた表記が望ましいであろう。

2つ目は乗車駅と降車駅が一緒(それでも乗車時刻と降車時刻が異なる)の事例や、降車時刻が乗車時刻よりも早いという現実とは矛盾する例が多々あった。このような事例は本データセットに限らず、マイクロデータを扱う際には往々にして見られることであるが、これはデータ

¹⁴ 家田(2002)によると1995年調査にはフレックス or ノンフレックスタイム制の勤務形態も項目にあった

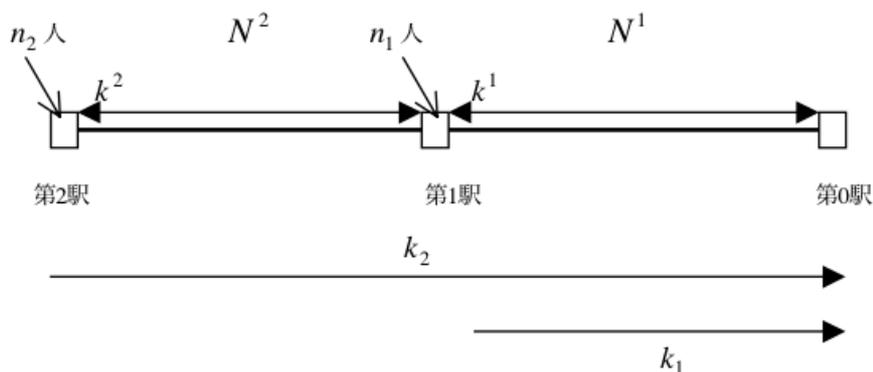
セット入力側のミスであるのか否かをすぐに確認し、そうであれば即訂正されるべきであり、調査票の記入ミスであれば欠損値として扱うなり、色を変えるなどして利用者に注意を促すよう工夫されるべきであると考えている。北村（2009）では、各省庁の統計担当部署に統計に関する質問や問題の指摘を受け付ける窓口を用意すべきであると主張し、データセットが利用される度に精度が高まっていくというシステム構築の重要性を指摘している。また欧米では、政府統計のデータが配布される時点で Stata、SAS、SPSS 別のフォーマットに整備されていたりと我が国も見習うべき点は多いのではないかと考えている。

最後に上記と関連するが、「統計法」のようなデータの信頼性を確保する基準が欠けているように感じた。大都市交通センサスは筆者の知る限りでは、首都圏全域の通勤者の交通行動を調査した唯一のマイクロデータである。それだけにデータの信頼度・精度を高めるような基準を満たしていることが望ましい。

8-2. 複数駅区間における外部不経済効果の導出方法

ここでは山鹿,八田(2000)にならって、まずは始発駅と終着駅の間には駅が1つだけ存在し、合計3つの駅が存在するとき（図14）の外部不経済効果の導出方法を説明し、それを拡張し一般的な外部不経済効果の導出方法を結論づける。

図 21 3 駅の場合



表記法はこれまでと同様で、各駅区間での通過人員 1 人の増加による第 i 駅区間の混雑率の増分は第 (7) 式より、

$$\frac{dk^i}{dN^i} = \frac{1}{K} \quad (i = 1, 2) \quad (16)$$

であり、この駅区間混雑率が通勤区間混雑率に与える影響は、第 2 通勤区間、第 1 通勤区間の順に、

$$\frac{\partial k_2(k^1, k^2)}{\partial k^i}, \quad \frac{dk_1(k^1)}{dk^1} \quad (i = 1, 2) \quad (17)$$

である。次に駅区間での 1 人の通勤者の増加が、駅区間混雑率の増加を経て通勤区間混雑率に与える影響は、それぞれ

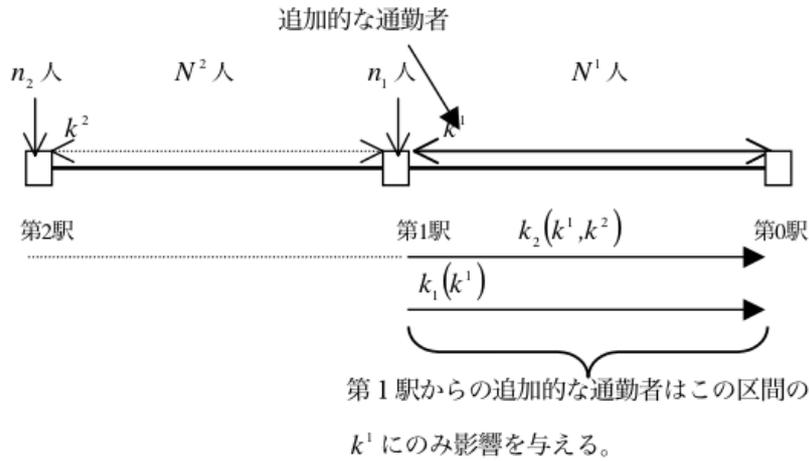
$$\begin{aligned} \frac{dk_2(k^1, k^2)}{dN^i} &= \frac{\partial k_2(k^1, k^2)}{\partial k^i} \frac{dk^i}{dN^i} = \omega_i \frac{1}{K} \quad (i = 1, 2) \\ \frac{dk_1(k^1)}{dN^1} &= \frac{\partial k_1(k^1)}{\partial k^1} \frac{dk^1}{dN^1} = \omega_1 \frac{1}{K} \end{aligned} \quad (18)$$

となる。

ここで第 i 駅の追加的な乗客数を n_i 、終着駅までの乗車時間を x_i とすると、第 i 駅から乗車した n_i 人の混雑限界費用は、 $f(k_i, x_i)$ ($i = 1, 2$) となる。

これから外部不経済効果の導出方法について説明していくが、まずは第 1 駅における追加的な通勤者が及ぼす外部不経済効果から導出する。

図 22 第 1 駅からの通勤者の外部不経済



出典：山鹿,八田 (2000)

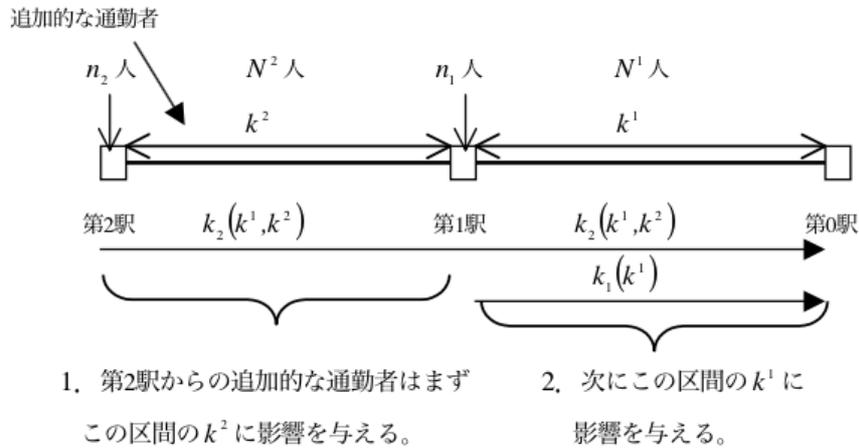
第 1 駅から乗車する通勤者が 1 人増えたとき、この追加的な通勤者が外部不経済を発生させる区間は第 1 駅区間であり、この区間には $f(dk_2(k^1, k^2), x_2)$ という混雑限界費用関数を持つ通勤者 n_2 人と、 $f(dk_1(k^1), x_1)$ という混雑限界費用関数を持つ通勤者 n_1 人が存在する。したがって第 1 駅における追加的な通勤者が及ぼす外部不経済効果 E_1 は、

$$\begin{aligned}
 E_1 &= n_2 \cdot f(k_2(k^1, k^2), x_2) \cdot \frac{\partial k_2(k^1, k^2)}{\partial k^1} \frac{dk^1}{dN^1} \\
 &+ n_1 \cdot f(k_1(k^1), x_1) \cdot \frac{\partial k_1(k^1)}{\partial k^1} \frac{dk^1}{dN^1}
 \end{aligned}
 \tag{19}$$

となる。ここで右辺第 1 項が第 2 駅からの通勤者の疲労に与える影響を総計したもので、第 2 項が第 1 駅からの通勤者の疲労に与える影響を総計したものである。

次に第 2 駅からの追加的な通勤者がもたらす外部不経済効果について論じる。

図 23 第 2 駅からの通勤者の外部不経済



出典：山鹿,八田 (2000)

第 2 駅からの通勤者が 1 人増えたとき、まず第 2 駅区間で通勤者が 1 人増え、混雑限界費用関数 $f(k_2(k^1, k^2), x_2)$ をもつ n_2 人の通勤者が移動している。よってこの第 2 駅区間で通勤者がもたらす外部不経済効果 E^2 は、

$$E^2 = n_2 \cdot f(k_2(k^1, k^2), x_2) \cdot \frac{\partial k_2(k^1, k^2)}{\partial k^2} \frac{dk^2}{dN^2} \quad (20)$$

となる。更に第 1 駅ではその列車に n_1 人の通勤者が乗車する。したがって第 2 駅から乗ったこの通勤者は第 2 駅からすでに乗車している混雑限界費用関数 $f(k_2(k^1, k^2), x_2)$ をもつ n_2 人の通勤者と、第 1 駅から乗車した混雑限界費用関数 $f(k_1(k^1), x_1)$ をもつ n_1 人の通勤者に外部不経済を及ぼす。この外部不経済効果 E^1 は、

$$E^1 = n_2 \cdot f(k_2(k^1, k^2), x_2) \cdot \frac{\partial k_2(k^1, k^2)}{\partial k^1} \frac{dk^1}{dN^1} + n_1 \cdot f(k_1(k^1), x_1) \cdot \frac{\partial k_1(k^1)}{\partial k^1} \frac{dk^1}{dN^1} \quad (21)$$

となる。以上により第 2 駅からの追加的な通勤者がもたらす外部不経済効果 E_2 は、

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

となる。同様の考え方が、駅が I 個存在する場合にも拡張でき、 i 駅からの追加的な通勤者の外部不経済効果 E_i 、すなわち第 i 駅から第 0 駅までの混雑料金は

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

(22)

となる。

参考文献

- 浅野哲,中村二郎 (2009) 『計量経済学』, 有斐閣
- 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 12.
- 家田仁,土谷和之,ファン レ ビン,岡村敏行 (2002) 「大都市圏鉄道需要の時刻集中特性予測モデルの構築と首都圏鉄道ネットワークへの適用」, 土木学会論文集 2002.
- 加藤浩徳 (2005) 「都市鉄道の混雑率の測定方法」, 運輸政策研究機構『第3回 鉄道整備等基礎調査報告シンポジウム』.
- 北村行伸 (2009) 『ミクロ計量経済学入門』, 日本評論社.
- 城所幸弘,金本良嗣 (2006) 「ロジット型モデルと費用便益分析」,日本交通政策研究会『環境問題に対応する道路プライシングと自動車関係税制の研究』第2章, pp. 19-49.
- 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 06-J011.
- 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. 101-131.
- 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」, 八田達夫編『都心回帰の経済学』第5章, 日本経済新聞社.

- 山鹿久木 (2009) 「通勤混雑外部性の定量化の試み」, 『経済学研究』 63(3), pp. 601-619.
- 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.
- 運輸政策研究機構 (2013) 「平成23年版 都市交通年報」
- 国土交通省 (2011) 「三大都市圏の混雑率」
- 国土交通省 (2013) 「平成22年度 大都市交通センサス」
- 国土交通省鉄道局 (2012) 「鉄道プロジェクトの評価手法マニュアル (2012年改訂版)」
- Cameron, A. Collin and Trivedi, Pravin K. (2005) *Microeconometrics : Methods and Applications*, Cambridge University Press.
- Cameron, A. Collin and Trivedi, Pravin K. (2010) *Microeconometrics Using Stata*, Stata Press.
- Greene, William H. (2011) *Econometric Analysis*, Person education.
- 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.
- Train, Kenneth E. (2009) *Discrete Choice Methods with Simulation*, Cambridge University Press.
- Wooldridge, Jeffrey M. (2010) *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*, The MIT Press.