

# 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

家田仁<sup>1</sup>・土谷和之<sup>2</sup>・ファン レ ビン<sup>3</sup>・岡村敏之<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 工博 東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻教授(〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)

<sup>2</sup>正会員 工修 (株)三菱総合研究所 社会システム研究本部(〒100-8141 東京都千代田区大手町2-3-6)

<sup>3</sup>学生会員 工修 東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻(〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)

<sup>4</sup>正会員 工博 広島大学大学院国際協力研究科開発科学専攻助手(〒739-8529 広島県東広島市鏡山1-5-1)

本研究では、輸送力増強などの供給者側の施策や、フレックスタイム制の普及;生産年齢人口減少などの社会環境の変化が、通勤鉄道の混雑緩和にどの程度寄与するのかを定量的に把握するために、「鉄道需要の時刻集中特性予測モデル」を構築した。このモデルは、混雑による外部効果や勤務制度に関わる変数を明示的に取り込んでいるという特長をもっている。構築されたモデルを首都圏の鉄道ネットワークに適用した結果、高い現状再現性が得られ、モデルの適用可能性の高さが示された。また、シナリオ分析を行った結果、需要動向を最も楽観的に想定し、かつ1998年現在事業中の路線が全て完成したとしても、運輸政策審議会の掲げる「ピーク時の平均混雑率150%」という目標を達成するのは困難であり、一定程度の新規整備が必要であることが示唆された。

**Key Words:** commuter railway, transport demand management, departure time choice, time-space network

## 1. はじめに

首都圏鉄道における朝の通勤混雑状況は近年軽減されつつあるものの、いまだに多くの路線の主要区間ににおいてピーク混雑率が200%を超えており、運輸政策審議会答申第13号(1992年)において長期目標とされている「ピーク時の平均混雑率150%」という水準には程遠い状態が続いている。こうした過度の混雑が通勤・通学者に対して大きな負担を与えてきたことは言うまでもない<sup>1)</sup>。

こうした状況に対して、従来は主として輸送力増強などの供給者側の施策がとられてきた。しかし、近年では用地取得;沿線での環境などの面での問題から、新線建設・線路増設による輸送力の増強は一段と難しい状況になってきている。また、ピーク時の混雑に対応するための過剰な設備投資は、オフピーク時の設備の遊休化を引き起こし、投資の効率性を低下させるといった問題もある。さらに、今後は「フレックスタイム制(以下FT制)・時差通勤制などの新しい勤務形態

の普及」、「少子化による生産年齢人口減少」、「事業所の地方分散」といった社会環境の変化が混雑緩和に寄与すると予想されており、「今後も鉄道混雑緩和のための投資は必要なのか?」といった疑問の声も投げかけられている。このような流れの中で、こうした社会環境変化がどの程度混雑緩和に寄与するのか、今後供給者は輸送力増強のためにどれくらいの設備投資をすべきなのか、といったことを定量的に分析できる手法が必要となってきた。

そこで本研究では、混雑による外部効果や勤務制度の多様化などを明示的に取り込んだ「大都市圏鉄道需要の時刻集中特性予測モデル」を構築する。このモデルは、鉄道通勤者の出社時刻選択行動を定式化した「出社時刻選択行動サブモデル」と、時間と空間を同時に表現したネットワーク上に鉄道通勤者を配分するための「時空間ネットワーク配分サブモデル」からなり、上記のような供給者側の施策<sup>2)</sup>や社会環境変化による混雑緩和効果を定量的に評価することができる。さらにこのモデルを実際の首都圏の鉄道ネットワークに適

用し、いくつかのシナリオ分析を行うことにより、将来的首都圏鉄道における通勤混雑緩和施策の方向性について検討を行う。

以下、2章では既往の関連研究と本研究の特色について述べる。つづく3・4章では各サブモデルの構成を述べ、5章では本モデルを実際の首都圏鉄道ネットワークに適用した結果とシナリオ分析について述べる。最後に6章で本研究の成果と今後の課題についてまとめる。

## 2. 既往の関連研究と本研究の特色

### (1) 既往の関連研究

ボトルネックを有する単一リンクを対象として、通勤時刻選択行動を定式化した先駆的研究である Vickrey<sup>2)</sup> 以降、通勤者の時刻選択行動を分析した研究は国内外で数多く行われてきている<sup>3), 4)</sup>。代表的なものとして、例えば、Henderson<sup>5)</sup> は移動費用とスケジュール費用を考慮した単純ながら一般的な通勤時刻選択モデルを構築し、道路容量の拡張やピークロードプライシングなどの混雑緩和施策に関して定性的な考察を行っている。また、Hendrickson and Kocur<sup>6)</sup> は、通勤者のコストがボトルネックでの待ち時間、希望到着時刻に対する到着余裕時間、遅刻時のペナルティから成るとし、このコストがすべての通勤者について最小となるようなボトルネックへの到着時刻を求めている。一方、Hall<sup>7)</sup> は通勤所要時間が正規分布に従うと仮定して、通勤ドライバーの行動を実効旅行時間と遅刻ペナルティのトレードオフによって説明するという確率論的アプローチをとっている。加藤他<sup>8)</sup>、内田他<sup>9)</sup> はこの考え方を基に通勤者の出社行動をセーフティーマージンの決定という側面から捉え、数量化一類による分析を行い、それぞれその決定要因を平均所要時間、業種と結論づけている。ただし、これらの研究蓄積の多くは自動車通勤者を対象としており、本研究に直接的に援用できるものではない。

また、特に FT 制下の通勤者の時刻選択行動を対象とした研究として、松井・藤田<sup>10)</sup>、塙井他<sup>11)</sup>がある。前者は非集計ロジットモデルを用いて通勤時刻選択行動モデルを構築し、さらにそれを通勤時刻分布・配分同時モデルに組み込むことにより、豊田市における FT 制導入効果を推定している。ここでは出社時刻選択行動の説明変数として労働時間、朝型・夜型ダミー、年齢など個人の生活様式や嗜好特性を取りいれている点、実際の交通ネットワークに基づいてマクロな視点からの評価を行っている点などは興味深い。しかし、ある特定企業のアンケートデータに基づいてモデルを推定

している、通勤時刻の選択肢が 1 時間単位と荒い、などの問題点がある。また後者は通勤者の生活リズムに着目した分析を行っているが、これも特定企業のアンケートデータに基づいたものであり、また個々の通勤者行動のミクロな変化がもたらすマクロな交通量変化までは分析できていない。

一方、離散選択モデルの応用例として出社時刻選択行動を取り上げた研究として屋井・清水<sup>12)</sup>、藤原他<sup>13)</sup>がある。前者は構造化プロビットモデルの時刻選択行動への適用を検討しているが、実証分析や施策評価には至っていない。後者はロジットモデルの IIA 特性を緩和した Paired Combinatorial Logit モデルを時刻選択行動に適用、実証分析を行い、時刻選択を離散選択行動と捉えた場合に選択肢間相互に類似性が生じることを確認している。しかし、これも通勤者のミクロな行動の分析にとどまっている。

さらに、小林他<sup>14)</sup>、奥村他<sup>15)</sup>は、鉄道通勤者の時刻選択行動と鉄道事業者の時刻別輸送サービス供給行動を内生化した部分均衡モデルを構築し、市場均衡と社会厚生の最適解を最適制御理論を用いて導出することにより、輸送力管理という供給者側の施策と、時刻別運賃などの需要管理施策の効果を理論的に検討している。その結果、通勤者数が増大していくにつれ、輸送力管理施策の効果は減少する一方、需要管理施策の効果は増大していく、などの結論を得ている。続く永野他<sup>16)</sup>、奥村他<sup>17)</sup>、吉村・奥村<sup>18), 19)</sup>においては、一般企業の始業時刻設定行動なども内生化されたモデルが構築され、時差通勤制の導入インセンティブなどに関して分析が行われている。この一連の研究においては、通勤者のみならず鉄道企業、一般企業の行動も内生化している点、企業が一斉始業することによる時間的集積の経済性を考慮している点などが非常に興味深いが、いずれも理論的・規範的な分析であり、現実の行動データを用いた定量的な分析、施策の評価はなされていない。

### (2) 本研究の特色

本研究で構築する「鉄道需要の時刻集中特性予測モデル」は、「出社時刻選択行動サブモデル」と「時空間ネットワーク配分サブモデル」の 2 つのサブモデルからなり、このモデルに「各駅間 OD データ」「勤務制度データ（始業時刻分布など）」「列車運行データ（輸送力、所要時間）」を入力し、各時間帯での「各駅で乗車（あるいは降車）する人員」「駅間断面通過人員（これを輸送力で除せば混雑率）」を出力することができる（図-1）。鉄道通勤者に対象を絞っていること、ミクロな行動分析にとどまらず、都市圏全体のマクロな鉄道需要の変化を定量的に分析できること、実際の施策評

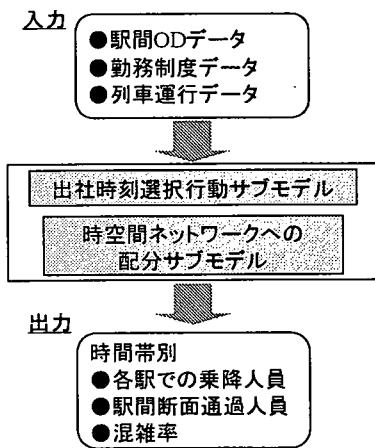


図-1 モデルの概要

価に耐えうるだけの細かい時刻区分（10分単位）を用いていること、などが既往研究のモデルとの相違点である。また、本モデルを用いて、今後の首都圏における鉄道計画の策定に向けた具体的な試算を行っていることも本研究の大きな特色と言える。

### 3. 出社時刻選択行動サブモデルの構成

これはランダム効用理論にもとづき、各通勤者の出社時刻選択行動を定式化したものである。以下にその構成について述べる。

#### (1) 効用関数の定式化

本モデルでは、通勤者は出社時刻に対する効用として以下の5つの項目について考慮しながら出社時刻を選択すると仮定する。ここで、出社時刻は $I$ 個の選択肢に離散化されたものとし、 $T_i$  ( $i = 1, 2, \dots, I$ ) で表す。また、各通勤者を表す添字を $n$ とする。

なお、本モデルにおいては通勤所要時間についての不確実性は存在せず、通勤者は各自の通勤所要時間を過去の経験により確定的に認知しているとする。これは、わが国の大都市圏における鉄道が毎日ほぼ所定のダイヤ通りに運行されていることを考えれば、妥当な仮定であると言える。

#### a) 起床時刻不効用 $V_{Gin}$

これは出社のために朝早く起床することに対する不快さを表現する不効用であり、起床時刻 $T_{Gin}$ の増加関数として表される。また、起床時刻が早くなる（あるいは遅くなる）につれ、起床時刻に対する限界不効用は漸減していくと考えられるため、この効用関数は図-2に示すような形状をもつものとなろう。

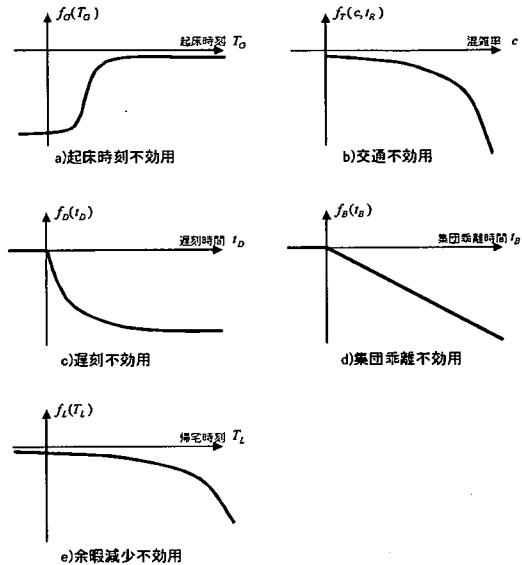


図-2 各効用関数の概念図

$$V_{Gin} = f_G(T_{Gin}) = f_G(T_i - t_{Nin} - t_{Hn}) \quad (1)$$

$T_{Gin}$  : 通勤者  $n$  が出社時刻  $T_i$  を選択した時の起床時刻  
 $t_{Nin}$  : 通勤者  $n$  が出社時刻  $T_i$  を選択した時の通勤所要時間

$t_{Hn}$  : 通勤者  $n$  の午前在家時間

#### b) 交通不効用 $V_{Tin}$

これは、乗車時間による不効用や、混雑に対する不快さを表現する関数であり、列車の混雑率  $c(T_{Rin}, Line_n)$  ( $T_{Rin}$  : 各通勤者の乗車時間帯,  $Line_n$  : 通勤者  $n$  の乗車路線を表すラベル) と乗車時間  $t_{Rin}$  により表される。ここで、 $T_{Rin}$  は、出社時刻  $T_i$ 、自宅から乗車駅へのアクセス時間  $t_{ACn}$ 、最終降車駅から勤務先へのイグレス時間  $t_{IGn}$  により決まる。この関数は  $c$ 、 $t_{Rin}$  のそれぞれについての単調減少関数とする。

$$V_{Tin} = f_T(c(T_{Rin}, Line_n), t_{Rin}) \quad (2)$$

#### c) 遅刻不効用 $V_{Din}$

遅刻に対するペナルティを表現する不効用であり、通勤者  $n$  の始業時刻 (FT 制通勤者であればコアタイム開始時刻)  $T_{Sn}$  に対する遅刻時間  $t_{Din}$  ( $= T_i - T_{Sn}$ ) の減少関数として表現する。ただし、非遅刻時 ( $T_i \leq T_{Sn}$ ) には不効用は生じない ( $V_{Din} = 0$ )。

$$V_{Din} = f_D(t_{Din}) = f_D(T_i - T_{Sn}) \quad (3)$$

#### d) 集団乖離不効用 $V_{Bin}$

各通勤者は始業時刻（コアタイム開始時刻）だけではなく、自分の勤務先や部署における周囲の人々の出社時刻に配慮して行動していると考えられる。そこで本モデルでは、周囲の平均的な出社時刻  $T_{AVG,n}$ （以下集団乖離開始時刻と呼ぶ）よりも遅く出社することによる業務効率の悪化や気がねを表現する不効用として集団乖離不効用を定義する。これは集団乖離時間  $t_{Bin} (= T_i - T_{AVG,n})$  の減少関数で表される。ただし、 $T_{AVG,n}$  よりも早い時刻に出社する場合 ( $T_i \leq T_{AVG,n}$ ) は不効用は生じない ( $V_{Bin} = 0$ )。

$$V_{Bin} = f_B(t_{Bin}) = f_B(T_i - T_{AVG,n}) \quad (4)$$

#### e) 余暇減少不効用 $V_{Lin}$

出社時刻  $T_i$  が遅くなるとその分帰宅時刻  $T_{Lin}$  も遅くなり、帰宅後の余暇の価値が減少することを表現する不効用である。これは  $T_{Lin}$  の減少関数として表現される。

$$V_{Lin} = f_L(T_{Lin}) = f_L(T_i + t_{Wn} + t_{Nin}) \quad (5)$$

$t_{Wn}$  : 通勤者  $n$  の日労働時間

#### (2) 出社時刻選択確率の導出

通勤者  $n$  の出社時刻  $T_i$  における効用  $U_{in}$  は、ランダム効用理論により、a)～e)の各効用の総和  $V_{in}$ （確定項）と観測されない確率項  $\varepsilon_{in}$  を用いて

$$U_{in} = V_{in} + \varepsilon_{in} \quad (6)$$

と表す。なお、いずれの効用アイテムもここでは単位を時間にとることとする。

時刻選択行動モデルをランダム効用理論で定式化する場合、近い時刻の選択肢間には非常に強い類似性が存在し、式(6)の確率項  $\varepsilon_{in}$  に強い相関が生じると考えられる。したがって、「確率項は分散が等しく互いに独立なガンベル分布に従う」として導出されるロジットモデルを時刻選択行動モデルに適用することには、「パラメータバイアスの発生とそれによる予測バイアスの発生」、「選択肢数増加による推定精度の劣化」などの問題があるとされている。そこで、先述の屋井・清水<sup>12)</sup>、藤原他<sup>13)</sup>のように、IIA 特性を緩和したモデルを時刻選択行動分析に適用し、上記のような問題に対処しようとする研究も多い。

しかし、本研究では実用上 10 分程度の精度で時刻選択行動を記述することが要求されるため、必然的に出社時刻の区分幅も 10 分前後の幅になり、選択肢の数は

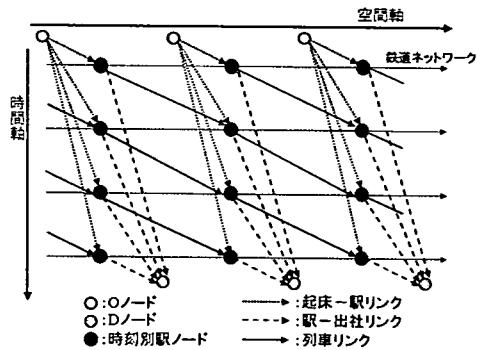


図-3 時空間ネットワークの概念図

非常に多くならざるをえない（たとえば出社時刻を午前 7 時から午前 10 時までの間から選択するとして、区分幅を 10 分単位とすると 18 脈選択となる）。そのため、上記のようなモデルでは、推定作業が非常に煩雑となり、またこのサブモデルを次章で説明する時空間ネットワークに適用する際にも困難が生じる。このため、本研究ではロジットモデルを採用することとする（ただし、ロジットモデルを用いることにより、上記のような問題が発生しうるため、その対処については今後 の課題とする）。この結果、通勤者  $n$  が出社時刻  $T_i$  を選択する確率  $P_{in}$  は次式で与えられる。

$$P_{in} = \frac{\exp(\theta V_{in})}{\sum_j \exp(\theta V_{jn})} \quad (7)$$

ここで、 $\theta$  は確率項  $\varepsilon_{in}$  の分散を表現するスケール パラメータである。効用が時間単位で表現される場合、 $\theta$  は時間単位の効用に対する感度を表す。

## 4. 時空間ネットワーク配分サブモデルの構成

本章では、本モデルで用いる時空間ネットワークの構造と、前章で定式化された出社時刻選択行動サブモデルにもとづいて通勤者をネットワークに配分するための手法について述べる。

### (1) 時空間ネットワークの構造

本モデルでは時空間ネットワークの構築に際し、「通勤者の経路選択行動は時刻選択行動に影響されない」という仮定を導入する。すなわち、通勤者は出社時刻にかかわらず常に一定の経路を利用すると仮定する。大都市圏の鉄道通勤者のほとんどが定期券利用者であり、日によって経路を変えるとは考えにくく、この仮定は

表-1 各ノードの定義

ノード種類	定義
O ノード	通勤者の出発点（自宅）を代表する。各鉄道駅に対して1つ設定する。
時刻別駅ノード	各鉄道駅を表す。各鉄道駅について各時刻ごとに1つ設定する。
D ノード	通勤者の到着点（勤務先）を代表する。各鉄道駅に対して1つ設定する。

表-2 各リンクの定義

リンク種類	起ノード	終ノード	リンクの意味
起床一駅リンク	O ノード*	時刻別駅ノード*	起床から乗車まで
列車リンク	時刻別駅ノード*	時刻別駅ノード*	乗車している過程
駅一出社リンク	時刻別駅ノード*	D ノード*	降車から出社まで

概ね妥当と言える。

この仮定のもとで構築された時空間ネットワークの概念図を図-3に示す。ここで、空間軸は一般には2次元平面における鉄道ネットワークとして表現されるが、ここでは見易さを考え、空間軸を1次元に簡略化して表現している。この時空間ネットワークに含まれる3種類のノードと3種類のリンクの定義をそれぞれ表-1、表-2に示す。このように構築された時空間ネットワークにおいては、あるODペアに対して出社時刻別に「起床一駅リンク→列車リンク→駅一出社リンク」で結ばれる出社時刻別パスが存在する。この時空間ネットワークでは、通勤者の「出社時刻選択行動」が「出社時刻別パスの選択行動」に置き換えて表現されることとなる。

## (2) リンクコスト関数の設定

前章で定式化した出社時刻選択行動サブモデルの各効用関数にもとづいて、ODペア  $rs$  上の通勤者  $n$  に対して各リンクコスト関数を以下のように設定する。

### a) 起床一駅リンク $a_1$ のコスト関数（=起床時刻不効用）

起床一駅リンクのコスト関数として、起床時刻の関数である起床時刻不効用関数を設定する。

$$C_{a1,n} = -f_G(T_{a1} - t_{Hn}) \quad (8)$$

$T_{a1}$ ：リンク  $a_1$  の始点（O ノード）を出発する時刻（自宅出発時刻）

$t_{Hn}$ ：通勤者  $n$  の午前在家時間

ここで、 $T_{a1}$  は時刻別駅ノードに到着する時刻（乗車時刻）からアクセス所要時間を引いた時刻として設定される。

### b) 列車リンク $a_2$ のコスト関数（=交通不効用）

列車リンクのコスト関数として、列車に乗車している間の不効用を表現する交通不効用関数を設定する。これは、下記のようにリンクフローに依存する関数となる。

$$C_{a2} = -f_T\left(\frac{x_{a2}}{CAP_{a2}}, t_{a2}\right) \quad (9)$$

$x_{a2}$ ：リンク  $a_2$  のリンクフロー

$CAP_{a2}$ ：リンク  $a_2$  の容量（輸送力）

$t_{a2}$ ：リンク  $a_2$  での所要時間

### c) 駅一出社リンク $a_3$ のコスト関数（=遅刻不効用+集団乖離不効用+余暇減少不効用）

駅一出社リンクのコスト関数は、出社時刻の関数である遅刻不効用関数、集団乖離不効用関数、余暇減少不効用関数の和とする。

$$C_{a3,n} = -f_D(T_{a3} - T_{Sn}) - f_B(T_{a3} - T_{AVG,n}) - f_L(T_{a3} + t_{Wn} + t_{rs}) \quad (10)$$

$T_{a3}$ ：リンク  $a_3$  の終点（D ノード）に到着する時刻（出社時刻）

$T_{Sn}$ ：通勤者  $n$  の始業時刻

$T_{AVG,n}$ ：通勤者  $n$  の集団乖離開始時刻

$t_{Wn}$ ：通勤者  $n$  の労働時間

$t_{rs}$ ：ODペア  $rs$  の所要時間

ここで、 $T_{a3}$  は時刻別駅ノードを出発する時刻（降車時刻）にイグレス所要時間を加えた時刻として設定される。

## (3) 配分手法

ODペア  $rs$  上の通勤者  $n$  が出社時刻別バス  $i$  を選択する確率  $P_{rs,n,i}$  は、式(7)より次のように表せる。

$$P_{rs,n,i} = \frac{\exp(-\theta C_{rs,n,i})}{\sum_j \exp(-\theta C_{rs,n,j})} \quad (11)$$

$$C_{rs,n,i} = \sum_{a \in H_{rs,i}} C_{a,n} \quad (12)$$

$H_{rs,i}$ ：ODペア  $rs$  における出社時刻別バス  $i$  に含まれるリンク集合

$C_{rs,n,i}$ ：ODペア  $rs$  上の通勤者  $n$  の出社時刻別バス  $i$  の総コスト

式(11)で表される選択確率に基づき通勤者を時空間ネットワークに配分するが、列車リンクのコスト  $C_{a2}$  がフローに依存する関数であるため、確率的利用者均衡配分の問題を解くことになる。また、 $C_{a1,n}$ 、 $C_{a3,n}$

表-3 効用関数の関数形の設定

効用の種類	関数形
起床時刻不効用 ただし $T_{Gn} = T_i - t_{Nn} - t_{Hn}$	$f_G(T_{Gn}) = \alpha_1 [\exp\{-\exp\{-\alpha_2(T_{Gn} - \alpha_3)\}\} - 1]$
交通不効用	$f_T(c, t_{Bn}) = \alpha_4 [-t_{Bn} [1 + 0.01 \times \{\exp(1.97 \times c) - 1\}]]$
遅刻不効用 ただし $t_{Bin} = T_i - T_{Bn}$	$f_B(t_{Bin}) = \begin{cases} \alpha_5 \ln(t_{Bin}) & (t_{Bin} > 0) \\ 0 & (t_{Bin} \leq 0) \end{cases}$
集団乖離不効用 ただし $t_{Bin} = T_i - T_{AVGn}$	$f_B(t_{Bin}) = \begin{cases} \alpha_6 t_{Bin} & (t_{Bin} > 0) \\ 0 & (t_{Bin} \leq 0) \end{cases}$
余暇減少不効用 ただし $T_{Ln} = \alpha_7 \exp[0.01 \times (T_{Ln} - 1260)]$	$f_L(T_{Ln}) = \alpha_7 \exp[0.01 \times (T_{Ln} - 1260)]$

- 注 1) 時刻は午前 0 時を原点とした分単位、時間も分単位。  
 注 2) 起床時刻不効用関数のパラメータ  $\alpha_3$  は起床時刻に対する限界不効用が最大となる時刻を表している。  
 注 3) 交通不効用に関しては、筆者らが推定した分単位の不効用関数を適用する<sup>20)</sup>。ただし、この分単位の不効用に対する感度を表すパラメータ  $\alpha_4$  を関数全体に乗じてある。  
 注 4) 余暇減少不効用関数内の 1260 (分) は便宜上設定した値であり、午後 9 時を表している。すなわち、パラメータ  $\alpha_7$  は午後 9 時に帰宅したときの不効用を表現している。

には各通勤者の個人属性や勤務制度に関わる変数  $t_{Hn}$ ,  $T_{Sn}$ ,  $T_{AVGn}$ ,  $t_{Wn}$  が含まれているため、これらの属性別に配分を行う必要がある。

以上を考慮し、本モデルではアルゴリズムとして逐次平均法<sup>20)</sup>を用いて通勤者を属性別に配分することとする。解くべき最適化問題とそのアルゴリズムの詳細は付録 I に示す。この均衡配分の結果、各時間帯での「各駅で乗車 (あるいは降車) する人員 (= アクセス (イグレス) リンクのフロー)」「駅間断面通過人員 (= 列車リンクのフロー)」が出力される。

## 5. モデルの推定と首都圏鉄道ネットワークへの適用

本章では 3 ; 4 章で構築したモデルを実際の首都圏へ適用する際の手法と、その適用結果について述べる。

### (1) 出社時刻選択行動サブモデルの推定

#### a) 関数形の設定

実際の推定にあたっては、文献 21) の推定例などをもとに、3 章で述べた諸仮定を満たす関数形を表-3 のように設定した。未知パラメータは  $\alpha_1 \sim \alpha_7$  の 7 つである。また、各通勤者は午前 6 時から正午までを 10 分刻みで離散化した時刻の中から出社時刻を選択すると仮定した (選択肢数 36)。

表-4 データを採取した路線

<JR 線>	
東海道線、中央線 (新宿以西)、総武本線、埼京線	
<私鉄>	
東急東横線、小田急小田原線、京王線、西武新宿線、西武池袋線、東武伊勢崎線、東武東上線、京成本線、京浜急行線	

表-5 パラメータ推定結果 (( )内は t 値)

パラメータ	交通不効用を考慮したモデル	交通不効用を考慮しないモデル
	推定値	推定値
$\alpha_1$	8.7154 (2.98)	11.0850 (1.52)
$\alpha_2$	0.0176 (5.23)	0.0145 (3.95)
$\alpha_3$	262.2830 (8.99)	237.3980 (3.58)
$\alpha_4$	0.0093 (2.72)	
$\alpha_5$	-0.3629 (6.91)	-0.3629 (6.90)
$\alpha_6$	-0.0190 (6.85)	-0.0195 (6.45)
$\alpha_7$	-0.3411 (6.53)	-0.3439 (6.67)
初期対数尤度	-2759.31	-2759.31
最終対数尤度	-2278.74	-2282.53
尤度比	0.17416	0.17279
AIC	4571.48	4577.06

#### b) 推定に用いたデータセットと諸変数の設定

本研究では平成 7 年度大都市交通センサス (以下センサス) の鉄道定期券利用者調査の個票データ (約 30 万票) を用いてモデルを推定した。このデータは首都圏全域の鉄道通勤者の利用実態を包括的に把握することを目的として採取されたものであり、本研究の目的に合致するものと考えられる。

パラメータ推定に際しては、この個票データのうち FT 制通勤者のものを表-4 に示す代表的郊外路線の利用者からサンプリングした (サンプル数 770)。始業時刻固定制 (以下 NFT 制) 通勤者のデータを用いないのは、NFT 制通勤者の個票データの調査項目の中に遅刻不効用関数の重要な変数である「始業時刻」が含まれていないからである (FT 制通勤者のデータには「コアタイム開始時刻」が含まれている)。

また効用関数内の諸変数は以下のように設定した。  
午前在家時間  $t_{Hn}$  : 本来は各通勤者によって午前在家時間は異なると考えられるが、センサスの個票にはこのようなデータは含まれていない。そこで、筆者らによるアンケート調査結果の平均値 (66 分) を全 FT 通勤者について用いることとする<sup>21)</sup>。

通勤所要時間  $t_{Nn}$  : センサス個票の自宅出発時刻と出社時刻のデータより各通勤者ごとに求める。実際の通勤鉄道においては、ピーク時には表定速度が下がるために所要時間が延びる傾向があるが、ここでは簡単化のために各通勤者について通勤所要時間は一定である (時刻によらない) とした。

乗車時間  $t_{Rin}$  : センサス個票の乗車時刻と降車時刻のデータより各通勤者ごとに求める。ここでも簡単化のために時刻によらず乗車時間は一定であるとした。

混雑率 $c$ ：平成2年度大都市交通センサスのデータから得られた各路線・各時間帯の混雑率の概算値を用いる。

コアタイム開始時刻 $T_{S_n}$ ：センサス個票のデータそのまま用いる。

集団乖離開始時刻 $T_{AVG_n}$ ：これは「自分の勤務先や部署における周囲の人々の平均的出社時刻」であるため、本来は各事業所や部署ごとに設定されるべき変数であるが、センサスにこのようなデータは含まれていない。そこで、ここではセンサスより算出したコアタイム開始時刻別の平均出社時刻を用いる。

労働時間 $t_{W_n}$ ：センサス個票の出社時刻と退社時刻のデータより各通勤者ごとに求める。

### c) 推定結果

効用関数に含まれる7つのパラメータを最尤法により推定した結果を表-5の左側に示す(不効用の単位を時間にとった場合、 $\alpha_4$ がスケールパラメータ $\theta$ に相当する)。起床時刻不効用関数が非線型パラメータを含むため尤度関数の凹性は保証されていないが、複数の初期値セットで試してみたところ、初期値で数値エラーを起こさない限りほぼ同一の解に収束することが確かめられた。

各パラメータの符号は適切であり、t値も妥当である。起床時刻に対する限界不効用が最大となる時刻を表す $\alpha_3$ は約262分(=午前4時22分)と推定されたが、これも直感的に妥当な値と言える。尤度比がやや低いが、選択肢数が36と非常に多いことを考えれば致し方がないであろう。また、この出社時刻選択行動モデルの現況再現性については、時空間ネットワークへ適用した結果とあわせて検討を行う(5.(4)参照)。

また、比較のために交通不効用(すなわち混雑効果)を考慮しないモデルについても同様に推定した結果を表-5の右側に示す。このモデルにおいては $\alpha_7$ を除く各パラメータのt値が悪化しており、またAICも5以上大きくなっている。このことから、通勤者の時刻選択には、通勤途上の混雑が影響していることが確認できる。

## (2) 時空間ネットワークの構築

現実の首都圏の鉄道ネットワークは非常に稠密であり、これにそのまま時間軸を加えて3次元の時空間ネットワークを構築するのは極めて煩雑な作業となる。そこで、本研究では郊外路線における朝の上り方向の需要集中特性をマクロに予測することに主眼をおき、まず首都圏の鉄道ネットワークを1次元・1方向に簡略化し、駅間ODデータもそれに合わせて変換することとする<sup>23)</sup>。この簡略化により、計算時間を大幅に短縮し、モデルの操作性を向上させることもできる。

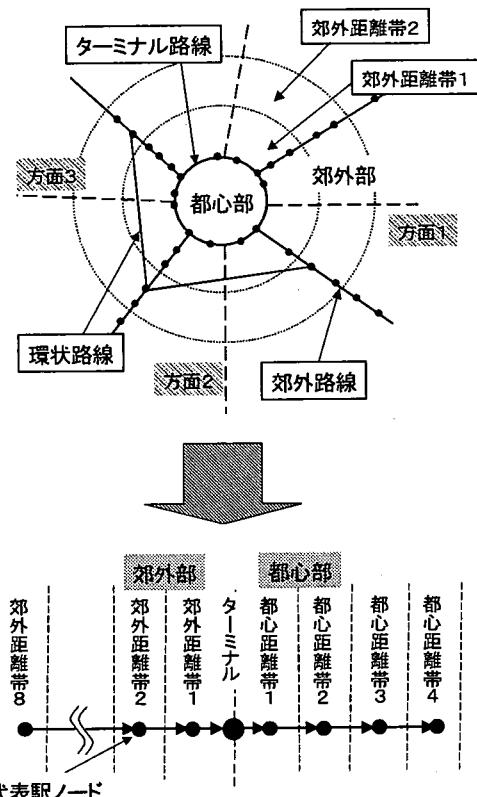


図-4 首都圏鉄道ネットワークの簡略化

鉄道ネットワークの簡略化に際しては、まず首都圏の鉄道をターミナル路線(ほぼ山手線にあたる)を境界として、内側の都心部と外側の郊外部に分ける。そして両部分について「ターミナル駅からの最速列車での所要時間が $10(n-1)+1 \sim 10n$ 分」となる距離帯をn距離帯とし(都心部は4つ、郊外部は8つの距離帯を設定)、各距離帯に含まれる駅を1つに集約して代表駅ノードとする(図-4)。例えば郊外距離帯2には横浜、調布、三鷹などの駅が含まれるが、これらの駅は1つの駅ノードで代表されることになる。さらに、この1次元・1方向の鉄道ネットワークに時間軸を加えることにより、図-3で示したような時空間ネットワークが構築できる。時間軸は、午前6時から正午までを10分ごとに離散化して表現する。

以上のように鉄道ネットワークを簡略化すると各路線ごとの需要の大小が平均化されてしまうが、需要(および混雑率)の時刻分布形は各路線とも概ね類似したものとなっている(センサスを用いて確認済み<sup>24)</sup>)ので、出力される需要の時間的分布形は、首都圏鉄道の平均的な需要特性を表現していると考えてよい。

表-6 発距離帯別のFT制比率

発距離帯	FT制比率(%)
都心	10.41
ターミナル	11.92
郊外距離帯1	8.27
" 2	9.06
" 3	9.54
" 4	9.11
" 5	8.63
" 6	7.10
" 7	7.56
" 8	3.13

### (3) データの整備と変数の設定

#### a) 距離帯間ODデータの整備

本研究においては首都圏の朝の上り方向電車における需要の時刻集中特性を予測する。そこで、まずセンサスの鉄道定期券利用者調査の個票データのうち「最初の乗車時刻が午前6時以降、かつ最後の降車時刻が正午以前であり、最初の乗車路線において上り方向に向かうもの」を取り出し、これより「駅間ODデータ」を作成する（したがって、このODデータには自由目的等の通勤以外の目的のデータは含まれない）。

さらに、本研究では前節で述べたように鉄道ネットワークを1次元に簡略化して扱うため、駅間ODデータもそれにあわせて変換する必要がある。その手法の詳細については付録IIに示す。この変換により得られた距離帯間ODデータをモデルの入力データとする。

#### b) 勤務制度データの整備

4.(3)で述べたように本モデルではODフローを通勤者の個人属性（午前在宅時間 $t_{Hn}$ 、労働時間 $t_{Wn}$ ）・勤務制度（始業時刻・コアタイム開始時刻 $T_{Sn}$ 、集団乖離開始時刻 $T_{AVG_n}$ ）別に分割して配分するため、これらの個人属性・勤務制度に関するデータが必要である。以下でそのデータ整備について述べる。

まず $t_{Hn}$ 、 $t_{Wn}$ に関しては、文献21)の調査結果やセンサスから得られる平均値を全通勤者について用いることとする。したがって、これらの個人属性別に配分する必要はない。

始業時刻・コアタイム開始時刻 $T_{Sn}$ については、まず全通勤者のうちFT制通勤者が占める割合（以下FT制比率）をセンサスより各発距離帯ごとに求める（表-6）。さらに、FT制通勤者のコアタイム開始時刻分布（ある時刻をコアタイム開始時刻とするFT制通勤者が全FT通勤者に占める割合）についてもセンサスより求める。さらに、NFT制通勤者の始業時刻分布については文献24)のデータを用いる（ただし、本研究では通学者の存在を考慮するために始業時刻分布を補正している。補正手法の詳細については付録IIIに示す。また図-5には補正後の値を示す）。

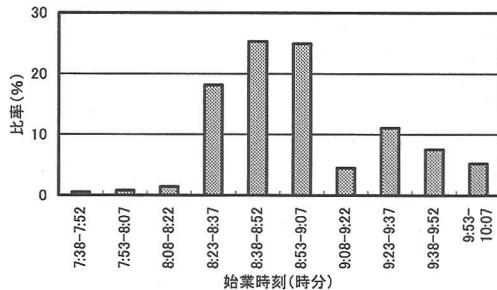
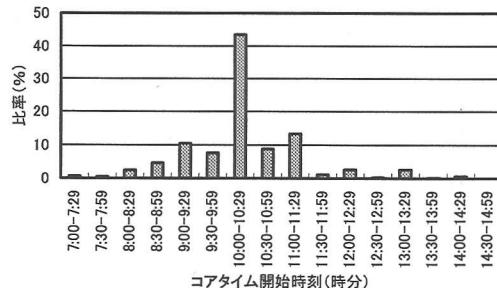


図-5 コアタイム開始時刻・始業時刻分布

次に集団乖離開始時刻 $T_{AVG_n}$ については、FT制通勤者に関しては出社時刻選択行動モデル推定時と同様に、センサスより算出したコアタイム開始時刻別の平均出社時刻を集団乖離開始時刻とする。NFT制通勤者については参考文献24)のデータを元に、始業時刻の7.5分前を集団乖離開始時刻として設定する。

4.(3)で述べた配分手法においては、これらのデータより、各ODフローをまずFT制通勤者・NFT制通勤者（通学者を含む）別に分割し、さらにそれをコアタイム開始時刻別・始業時刻別の属性に分割して配分することとする。

#### c) 列車運行データの整備

各列車リンクでの輸送力 $CAP_{a_2}$ については市販の時刻表と列車編成、車両定員より求めた。

#### d) 自宅から初乗り駅までのアクセス時間・最終降車駅からの会社までのイグレス時間

これらはそれぞれアクセスリンク・イグレスリンク所要時間となるものである。前者は各距離帯発の通勤者のアクセス時間を平均したものを、後者は各距離帯着の通勤者のイグレス時間を平均したものをセンサスより求めて用いる。ただし、異方面発着ODに含まれる通勤者については、環状路線に乗換えた駅から実際に勤務先に到着するまでの時間をイグレス時間とし、環状路線に乗換えた後の乗車時間を考慮することとした。

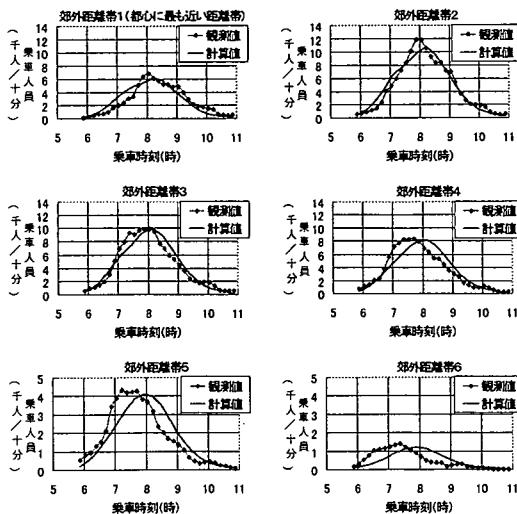


図-6 計算値・観測値比較 (FT 通勤者)

表-7 距離帯別の相関係数・不一致係数

	FT通勤者		NFT通勤者(含む通学者)	
	相関係数	不一致係数	相関係数	不一致係数
郊外距離帯1	0.938	0.117	0.879	0.180
郊外距離帯2	0.979	0.070	0.938	0.128
郊外距離帯3	0.973	0.078	0.980	0.078
郊外距離帯4	0.937	0.120	0.995	0.050
郊外距離帯5	0.902	0.153	0.994	0.058
郊外距離帯6	0.713	0.270	0.991	0.058

#### (4) 適用結果

各時間帯・各距離帯での乗車人員（乗車リンクのフロー）について、本モデルより算出した計算値とセンサスより集計した値（観測値）とを比較したのが図-6, 7である（ここでは代表的な郊外距離帯での結果を示している）。また、距離帯別に観測値と計算値の相関係数・不一致係数を算出したものを表-7に示す。都心に近い距離帯ではピーク前がやや過大、遠い距離帯ではピーク後がやや過大推計となっており<sup>[3]</sup>、相関係数・不一致係数も悪化しているが、これには以下のような理由が考えられる。

- ・ネットワークの簡略化の際に、ターミナル駅までの最速列車での所要時間を基準に距離帯を分割しているため、最速でない列車を利用している通勤者の所要時間を過小評価している可能性がある。
- ・居住地域による効用の差異を考慮していない。都心近くに住む人は、遠くに住む人よりも早起きに対する不効用が大きいことなども考えられる。

しかし、全体としては概ね良好な現状再現性が得られたと言える。また、前述した出社時刻選択行動サブモデルの推定結果について、乗車時刻分布を積み上げた形でもその妥当性が確認できたと言える。

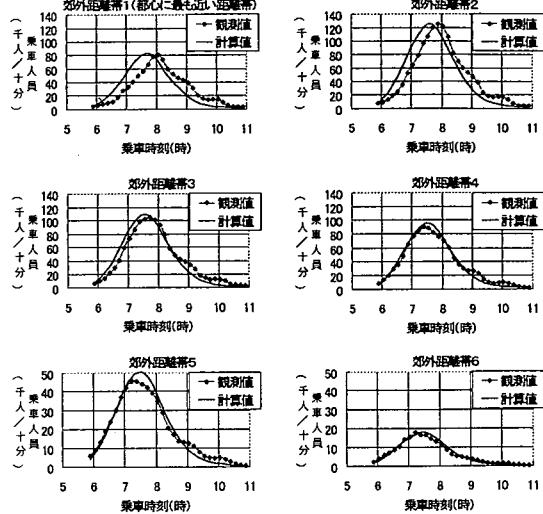


図-7 計算値・観測値比較 (NFT 通勤者 (含む通学者))

#### (5) シナリオ分析

1章で述べたように、今後は勤務形態の変化や生産年齢人口の減少などにより、通勤・通学鉄道の混雑は緩和されていくと考えられている。そこで本研究では、こうした社会環境の変化や輸送力増強による混雑緩和効果を見るために、以下のシナリオ0～3について、各距離帯断面での混雑率の時刻分布を比較する。代表的な断面として、郊外路線の4断面における比較結果を図-8に示す。

【シナリオ0】現状再現値（1995年）

【シナリオ1】2015年を想定して、輸送力・需要が以下のようになったとき（標準的なシナリオ）

- ・98年現在事業中の路線（計画中の路線は含まず）が完成（95年比で輸送力10%増強）
- ・生産年齢人口に比例して通勤・通学需要が減少（95年比で総需要10%減少）<sup>[4]</sup>

【シナリオ2】シナリオ1に加えて、以下のような勤務形態の変化を想定した場合（楽観的なシナリオ）

- ・FT制通勤者が現状の3倍に増加（その分NFT制通勤者は減少）
- ・さらに、午前8:30～9:00に始業時刻をもつNFT制通勤者のうち、30%が始業時刻を1時間後にシフト

【シナリオ3】シナリオ2に加えて、さらに輸送力が20%増強（95年比で輸送力32%増強）

図-8に示された結果より、現在事業中の路線がすべて完成し、かつ通勤・通学需要の減少や勤務形態の変化を混雑緩和に対して最も楽観的に想定したシナリオ2においても、各断面におけるピーク混雑率は都心側から186, 170, 138, 160%となり、多くの断面で長期目標値である150%には及ばないことが明らかとなっ

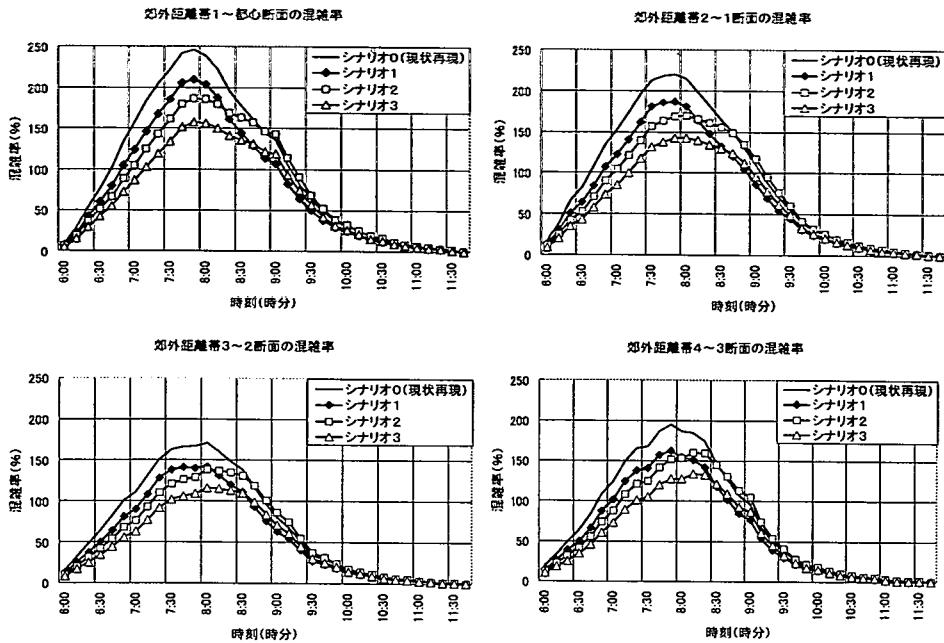


図-8 現状と各シナリオ実現時での混雑率比較

た。またシナリオ2を1と比較すると、ピーク時刻は後方にずれるものの、ピーク混雑率はほとんど減少しないという傾向が見られる。これは、FT制や時差通勤制の対象となった通勤者が輸送力の小さいピーク後の時間帯に流れ込むためである。

そこで、シナリオ3ではさらに大幅な輸送力増強が実施される状況を想定したが、ここで初めて各断面でのピーク混雑率は都心側から 157, 143, 115, 134%となり、目標である 150%をほぼ達成できることが予想される。したがって、ピーク時の混雑緩和を実現するためには、今後も輸送力増強などのためのある程度の設備投資（複々線化や車両増強など）が不可欠であることが示唆される。

## 6. おわりに

本研究の成果をまとめると以下のようになる。

- (1) 通勤鉄道の混雑緩和施策の効果を定量的に評価可能な「鉄道需要の時刻集中特性予測モデル」を構築した。本モデルは混雑による外部効果や通勤者の勤務制度に関する変数を明示的に取り込んでいるという特長をもっている。
- (2) モデルを実際の首都圏の鉄道ネットワークに適用し

た結果、概ね良好な現状再現性を得ることができた。またその際に稠密な鉄道ネットワークを1次元に簡略化することにより、高い操作性も確保できた。

(3) シナリオ分析の結果、現在事業中の路線がすべて完成し、かつ需要動向を最も楽観的に想定したとしても、「ピーク時の平均混雑率 150%」という長期目標を達成するのは困難であり、ピーク時の混雑緩和実現のためにはさらなる新規整備が必要であろうことが示された。実際、2000年2月の運輸政策審議会答申18号<sup>25)</sup>でも、将来の東京圏の都市鉄道網について、既設線の有効活用と同時に、一定程度の新たな路線整備が示されているが、こうした政策動向は、本研究で得られた試算結果と整合したものとなっている<sup>[5]</sup>。無論、こうしたモデルによる評価・予測には限界があり、またこの長期目標値が社会的に最適な水準であるか否かについても更なる議論が必要ではあるが、今後の鉄道政策を考えていく上でのひとつの有用な示唆が得られたと言える。

また、今後の課題について以下にまとめる。

- (1) 本モデルでは時刻選択行動モデルとしてロジットモデルを用いているが、3. (2)で述べたように、確率項に強い相関が生じると考えられる状況において II A 特性をもつロジットモデルを用いることには理論的な問題が残されている。今後は Paired

Combinatorial Logit モデルなどの確率項の相関を考慮できる手法の導入を検討していく余地がある。

(2) 本研究では首都圏の通勤者全体に対して一組の効用関数を適用している。しかし、起床時刻不効用関数、遅刻不効用関数などは居住地域や勤務先によって形状が異なることも考えられる。また、出社時刻の選択肢集合も本来は各通勤者によって異なるはずである。さらに、同じ通勤者についても、時間帯による列車の表定速度の違いから、出社時刻によって通勤所要時間は異なる。したがって、今後は精緻なセグメンテーションを行うなどの工夫をした上で効用関数を推定し、本研究では考慮できなかった地域的な要素などが出社時刻選択行動にどのような影響を与えていたかを分析していかなければならない。ただし、そのためにはセンサスよりも詳細な行動データ（たとえば、NFT 通勤者の始業時刻データ、就寝時刻・起床時刻などの生活サイクルに関するデータ）が必要であり、今後の統計データ整備が期待されるところである。

(3) 本研究では鉄道ネットワークの 1 次元化により高い操作性を得ているが、一方で路線別の施策評価ができるなどの問題も生じている。鉄道ネットワークを 2 次元平面で表現したまま、時空間ネットワークを合理的に構築する手法も検討・開発されなければならない。

(4) さらに応用面での課題として、関西圏、名古屋圏などの他の大都市圏への適用が考えられる。

**謝辞：**本研究を遂行するにあたり、文部省より科学研究費補助金（基盤研究 B(2)、課題番号 09555165）を助成していただいた。また、東日本鉄道文化財団より研究助成を頂いた。ここ記して感謝の意を表します。また、匿名の査読者には注意深く原稿に目を通していただき、この論文が抱えている問題を鋭く指摘して顶いた。この場を借りてお礼を申し上げます。無論、この論文にありうべきすべての誤謬については、筆者らが責任を負う。

### 【注】

- [1] 供給者側の施策としてはピーコードプライシングも重要とされている<sup>20)</sup>が、「日本では通勤費は通常自己負担ではなく企業負担である」「需要を実質的に分散させるためには、非現実的なほどの高運賃を設定する必要があると予想される」といったことからその効果や実現性を疑問視する声も多い。本研究でもこの立場をとり、ピーコード

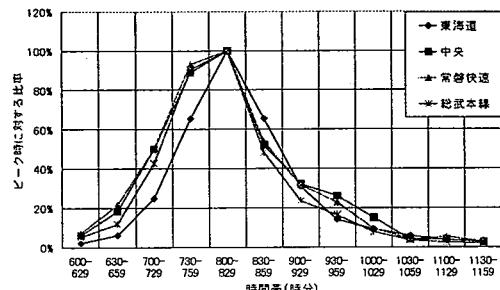


図-9 需要の時刻分布形 (JR 主要路線)

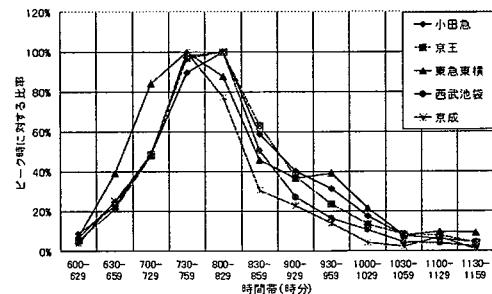


図-10 需要の時刻分布形 (私鉄主要路線)

プライシングはとりあえず分析の対象とはしない。

- [2] 平成 7 年大都市交通センサスにより算出した、都心 20km 断面における需要の時刻分布形（各路線のピーク時需要を 100%に基準化したもの）を図-9, 10 に示す。これらの図より、需要の時刻分布形が各路線・方面によらず類似していることが確認できる。
- [3] このような現況再現結果となっており、また、推計に際して誤差補正を行っていないため、都心付近断面ではピークが平準化した推計となっている可能性がある。したがって、以下のシナリオ分析において算出されるピーク混雑率は、やや過小となっている（より楽観的な値となっている）危険性があることに留意しなければならない。
- [4] ここでは「通勤通学旅客の需要は、生産年齢人口に比例して減少する」と設定したが、実際には女性や高齢者の就労者数の増加などにより、雇用が生産年齢人口に比例して減少するとは考えにくい。したがって、ここで想定した需要動向は、混雑緩和に対して最も楽観的なものである。
- [5] 本研究の結果の一部は、運輸政策審議会地域交通部会の作業が開始される前の 1998 年に文献 1) としてとりまとめられ、実務関係者に配布されている。

### 付録 I 確率的利用者均衡配分問題の詳細

本モデルでは確率的利用者均衡配分の問題を解くが、

通常とは異なり、リンクコスト関数が通勤者の属性によって異なる。この場合、確率的利用者均衡配分と等価な最適化問題は以下のように定式化される。

$$\min Z(\mathbf{f}) = \sum_m \sum_{a \in A1 \cup A3} C_{a,m} \cdot x_{a,m} + \sum_{a \in A2} \int_0^{x_a} C_a(\omega) d\omega \\ + \frac{1}{\theta} \sum_m \sum_{rs} \left[ q_{rs,m} \left( \sum_i \frac{f_{rs,i,m}}{q_{rs,m}} \ln \frac{f_{rs,i,m}}{q_{rs,m}} \right) \right] \quad (A1)$$

$$s.t. \quad x_a = \sum_m x_{a,m} = \sum_m \sum_{rs} \sum_i f_{rs,i,m} \delta_{a,i}^r \quad (A2)$$

$$q_{rs,m} = \sum_i f_{rs,i,m} \quad (A3)$$

$$f_{rs,i,m} \geq 0 \quad (A4)$$

$m$  : 通勤者の属性を表すラベル (始業時刻などにより規定)

$x_a$  : リンク  $a$  のリンクフロー

$x_{a,m}$  : リンク  $a$  における属性  $m$  の通勤者のリンクフロー

$q_{rs,m}$  : ODペア  $rs$  間における属性  $m$  の通勤者のODフロー

$f_{rs,i,m}$  : ODペア  $rs$  間の出社時刻別パス  $i$  における属性  $m$  の通勤者のパスフロー

$\delta_{a,i}^r$  : ODペア  $rs$  間の出社時刻別パス  $i$  がリンク  $a$  を含むときに 1, そうでないときに 0 をとるダミー変数

$C_{a,m}$  : 起床一駅リンク及び駅一出社リンクのリンクコスト関数

$A_1, A_2, A_3$  : それぞれ、起床一駅リンク、列車リンク、駅一出社リンクの集合  
ここで、フローディメンションである列車リンクのリンクコスト関数は、リンクフローに対して単調増加関数であるため、目的関数はリンクフロー  $x_a$  およびパスフロー  $f_{rs,i,m}$  に関して狭義凸関数となる。また制約

条件が線形形式および非負条件のみであるため、実行可能な領域は凸集合となる。したがって、一般的な確率的利用者均衡配分問題と同様に、上記問題の均衡解は一意に求まる。

また、上記問題を解く際には、逐次平均法に準じた以下のアルゴリズムを用いる。ここで、各繰り返し計算を通じて利用される経路（出社時刻別パス）の集合については同一のものに固定しているため、厳密解への収束が保証される。

**Step0)** 繰り返し回数  $k$  を初期化 ( $k=1$ ) する。初期リンクフローは  $x_a^{(1)} = 0, \forall a \in H$  ( $H$  : 全リンクの集合) とする

**Step1)** 属性別のODフロー  $q_{rs,m}^{(k)}$  について、出社時刻別パス  $i$  のパスフロー  $f_{rs,i,m}^{(k)}$  を以下の式で算出する。このとき、出社時刻別パスについてはすべてのパスを列挙している。

$$f_{rs,i,m}^{(k)} = q_{rs,m}^{(k)} \times P_{rs,i,m}^{(k)} \quad (A5)$$

$P_{rs,i,m}^{(k)}$  : 属性  $m$  に属する通勤者について式(A1)により算出されたパス  $i$  の選択確率

ただし、 $P_{rs,i,m}^{(k)}$  を算出する際、 $C_{a2,n}$  については前回の計算で出力されたリンクフロー  $x_a^{(k)}$  を入力して求める。 $f_{rs,i,m}^{(k)}$  を全属性について算出し和をとれば、ODペア  $rs$  における出社時刻別パスフロー  $f_{rs,i}^{(k)}$  が求められる。

**Step2)** Step1を全ODペアについて実行し、さらに各パスフロー  $f_{rs,i}^{(k)}$  をリンクごとに集計することによりリンクフローの補助解  $y_a^{(k)}$  を得る。

**Step3)** ステップサイズを  $\alpha = 1/k$  として、リンクフロー  $-x_a^{(k)}$  を以下の式で改訂する。

$$x_a^{(k+1)} = x_a^{(k)} + \alpha (y_a^{(k)} - x_a^{(k)}) \quad (A6)$$

**Step4)** 次式で収束判定を行う。

$$\frac{\sqrt{\sum_{a \in H} (x_a^{(k+1)} - x_a^{(k)})^2}}{\sum_{a \in H} x_a^{(k)}} \leq \varepsilon \quad (A7)$$

$\varepsilon$  : 収束判定値

式(A7)が満たされればリンクフローは均衡したとみなし、計算を終了する。満たされなければ繰り返し回数を更新 ( $k := k+1$ ) し、Step1へ戻る。

以上のStep0～Step4により、全リンクのフローが求

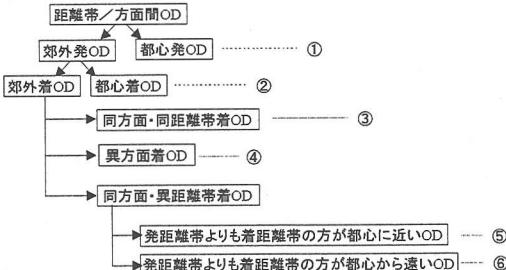


図-A1 距離帯・方面間ODの分類

まる。また、5章での適用に際しては収束判定値 $\varepsilon$ は0.05%としている。

## 付録II 駅間ODデータから距離帯間ODへの変換手法

ここでは駅間ODデータを距離帯間ODデータに変換する手法について詳述する。

まず図-A4 上側の図のように首都圏の郊外路線の各駅を「距離帯」と「方面」で分類し、その分類に合わせて「駅間ODデータ」を「距離帯／方面間ODデータ」に変換する（方面は14方面設定）。さらにそれを図-A1のように分類し、これらに以下のような変換を加えることにより「距離帯間ODデータ」を作成する。

- ①都心発OD: 下り方向に向かう通勤者は考えないので、都心から郊外に出るODは無視する。都心発・都心着のODのみ割り付ける。
- ②郊外発・都心着OD: センサスのデータより、ターミナル駅から都心部最終降車駅までの所要時間別の通勤者比率を求める（すべてのターミナル駅について求めるのは困難なので、代表的なターミナル駅である渋谷・新宿・上野・茅場町から最終降車駅までの時間分布を求める）。そして、各郊外距離帯発・都心部着のODを各発距離帯ごとに集計し、この比率に従って都心距離帯1～4に割り付ける。
- ③郊外の同方面・同距離帶着OD:  $n$ 距離帯から $n$ 距離帯へのODは、 $(n+1)$ 距離帯から $n$ 距離帯へのODと、 $n$ 距離帯から $(n-1)$ 距離帯へのODとに等分して割り付ける。
- ④異方面発着OD: このODは、通勤経路の中に山手線・武蔵野線などの環状路線が含まれているODであると考えられる。そこで、実際の鉄道ネットワークをもとに、どの距離帯で環状路線に乗車しているかを特定し、環状路線に乗換えている距離帯に着しているとして変換する。このように変換すると環状路線に乗換えた後の乗車時間について考慮できなくなるが、これ

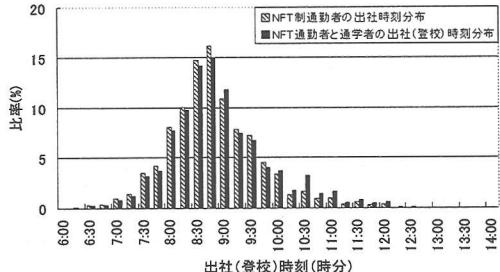


図-A2 出社(登校)時刻分布の比較

については5.(3)d)で述べるようにイグレス時間に反映させることによって解決する。

- ⑤同方面・異距離帶着ODで、発距離帶よりも着距離帶の方が都心に近いOD: これは変換しない。
- ⑥同方面・異距離帶着ODで、発距離帶よりも着距離帶の方が都心から遠いOD: このODは、「最初は上り方向の路線に乗車するが、その後下り路線に乗換え、最終的には都心からより遠い距離帶に着するOD」である。そこで、発距離帶よりも1つ都心よりの距離帶に着しているものとして変換する。

## 付録III 通学者の取り扱いについて

鉄道混雑を考える上で、通勤者以外に通学者の存在も重要である。本研究においても本来ならば通学者を通勤者とは別の属性をもつ者と捉え、その登校時刻選択行動を定式化すべきである。しかし、登校時刻選択行動を考える上で重要な変数である授業開始時刻に関するデータはセンサスには含まれておらず、また他に利用可能なデータも存在しない。そこで本研究では通学者をNFT制通勤者に含めて考えることとした。ただし、センサスよりNFT制通勤者のみの出社時刻分布と、NFT制通勤者と通学者の両者を含めた出社(登校)時刻分布を算出すると(図-A2)，後者の方が全体的にやや遅い時間帯に分布していることがわかる。そこで、こうした傾向を考慮するために文献24)の始業時刻分布データを以下のように補正した。

まず、NFT制通勤者のうち、午前9:14まで出社する者の比率を $A_1$ 、午前9:15以後に出社する者の比率を $A_2$ とおく。同様に、NFT制通勤者と通学者を合わせた集団のうち、午前9:14まで出社(登校)する者の比率を $B_1$ 、午前9:15以後に出社(登校)する者の比率を $B_2$ とおく。そして始業時刻分布データの午前9:14以前の比率に $B_1/A_1$ を、午前9:15以後の比率に $B_2/A_2$ を乗ずる。このようにして補正された始業時刻分布データをモデルの入力データとする。

## 参考文献

- 1) 例えば、都市鉄道政策研究グループ（家田ほか）：東京圏都市鉄道の将来展望と政策ビジョン、1998など。
- 2) Vickrey, W.S.: Congestion theory and transport investment, *American Economic Review*, Vol.59, No.2, pp.251-260, 1969.
- 3) 松井寛：交通需要の動的分析の諸相と今後の展望、土木学会論文集、No.470/IV-20, pp.47-56, 1993.
- 4) 赤松隆：交通流の予測・誘導・制御と動的なネットワーク配分理論、土木計画学研究・論文集、No.13, pp.23-48, 1996.
- 5) Henderson, J.V.: *Economic Theory and the Cities*, Academic Press, Chap.8, 1985. (折下功訳：経済理論と都市、勁草書房、第8章、1987.)
- 6) Hendrickson, C. and Kocur, G.: Schedule delay and departure time decisions in a deterministic model, *Transportation Science*, Vol. 15, pp.62-77, 1981.
- 7) Hall, R.W.: Travel outcome and performance: the effect of uncertainty on accessibility, *Transportation Research-B*, Vol.17B, No.4, pp.275-290, 1983.
- 8) 加藤文教、門田博知、浜田信二：道路の信頼性評価の簡便法、土木計画学研究・論文集、No.4, pp.181-188, 1986.
- 9) 内田敬、飯田恭敬、松下晃：通勤ドライバーの出発時刻決定行動の分析、土木計画学研究・論文集、No.10, pp.39-46, 1992.
- 10) 松井寛、藤田素弘：フレックスタイム下における通勤時刻選択行動とその効果分析、土木学会論文集、No.470/IV-20, pp.67-76, 1993.
- 11) 塚井誠人、藤原章正、杉恵頼寧、周藤浩司：フレックスタイム制度下における通勤時刻選択行動の分析、土木計画学研究・論文集、No.16, pp.941-947, 1999.
- 12) 屋井鉄雄、清水哲夫：構造化プロビットモデルを用いた出発時刻選択モデルの定式化について、土木計画学研究・講演集、No.20(1), pp.427-428, 1997.
- 13) 藤原章正、杉恵頼寧、岡村敏之、神田佑亮：選択肢間の類似性を考慮した時刻選択モデル、土木計画学研究・講演集、No.22(1), pp.401-404, 1999.
- 14) 小林潔司、奥村誠、永野光三：鉄道通勤交通における出発時刻分布に関する研究、土木計画学研究・論文集、No.14, pp.895-906, 1997.
- 15) 奥村誠、永野光三、小林潔司：始業時刻の設定が鉄道通勤交通に及ぼす影響に関する研究、土木計画学研究・論文集、No.15, pp.831-840, 1998.
- 16) 永野光三、奥村誠、小林潔司：鉄道時差通勤の導入インセンティブに関する分析、土木計画学研究・講演集、No.21(2), pp.885-889, 1998.
- 17) 奥村誠、小林潔司、田中成興：鉄道時差通勤の社会的便益と導入インセンティブに関する分析、応用地域学研究、No.4, pp.63-75, 1998.
- 18) 吉村充功、奥村誠：ダイナミカルシステム論による鉄道時差出勤パターンの分析、土木計画学研究・講演集、No.22(1), pp.363-366, 1999.
- 19) 吉村充功、奥村誠：鉄道通勤における最適フレックスタイムパターンの研究、土木計画学研究・講演集、No.23(1), pp.575-578, 2000.
- 20) 土木学会土木計画学研究委員会：交通ネットワークの均衡分析—最新の理論と解法—、土木学会、pp.181-185, 1998.
- 21) 家田仁、竹村宗能、岡村敏之、今泉航太：労働時間の違いを考慮した鉄道通勤者の出社行動の分析、土木計画学研究・講演集 No.20(1), pp.429-432, 1997.
- 22) 家田仁、志田州弘、古川敷、赤松隆：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・講演集、No.12, pp.519-527, 1989.
- 23) 家田仁、ファン・レ・ピン、岡村敏之：時空間ネットワーク分析のための都市交通ネットワークの簡略表現法の提案、土木学会第 54 回年次学術講演会講演概要集第 4 部, pp.732-733, 1999.
- 24) 財団法人連合総合開発研究所：平成 5 年度 新時代の労使関係に関する調査研究（大都市圏通勤問題に関する調査研究）、1994.
- 25) 東京圏鉄道整備研究会：東京圏の鉄道のあゆみと未来、[解説]—運輸政策審議会答申第 18 号—「東京圏における高速鉄道を中心とする交通網の整備に関する基本計画」、2000.
- 26) 例えば、八田達夫：東京一極集中の経済分析、pp.58-60, 1994.

(2001. 4. 3 受付)

## DEVELOPMENT OF THE COMMUTER DEMAND CONCENTRATION MODEL BASED ON A TIME-SPACE NETWORK SCHEME

Hitoshi IEDA, Kazuyuki TSUCHIYA, Le Binh PHAN and Toshiyuki OKAMURA

In the urban area, development of railway capacity and dispersion of demand are thought to relieve congestion in peak time. In order to evaluate the effects of these measures, a network assignment model based on a time-space network is developed, called the Commuter Demand Concentration Model. Utilizing OD tables, railway capacity data, and information of working time system as input, this model gives congestion levels at each time and at each zone. Then, this model is applied to Tokyo's railway network, and it turned out that it can estimate commuter demand over time with reasonable accuracy. Finally, we can make a forecast for Tokyo's railway demand in the future, considering possible changes in the working system and railway capacity.