

勤務制度の多様化に伴う通勤者の行動の変化を考慮した
大都市圏鉄道需要の時刻集中特性の予測手法の開発*

*Estimation of a Model to Describe the Variation of Demand in the Tokyo Railway Network
with respect to the Variety of Work-time System*

家田 仁**, 岡村敏之***, ファン レ ビン****

IEDA Hitoshi, OKAMURA Toshiyuki, PHAN Le Binh

1. はじめに

東京都市圏など我が国の大都市圏では通勤鉄道の混雑は現在に至るまで大きな問題となっている。そのため、多くの路線で輸送力増強投資が行われ、また新線の建設や計画も進められてきた。また一方で、現状の鉄道需要は横這いまたは漸減傾向を示しており、さらに将来においては、就業人口の減少やフレックスタイム制（以下 FT 制）等の勤務制度の変化などにより、特に朝ピーク時の需要は減少すると予想されている。そのため、「需要減少という状況下で、果たしてこれからもピーク時の混雑緩和のための設備投資が必要であるのか？」という疑問が、鉄道事業者や利用者から生じていることも事実である。

そこで本研究では、様々な勤務制度や鉄道利用者の混雑回避行動などを取り込むことにより「大都市圏鉄道のピーク時における需要の時刻集中特性」を定量的に出力する手法を開発し、それを東京都市圏の鉄道ネットワークに適用して将来におけるピーク時の需要を予測することにより、東京都市圏の鉄道混雑緩和方策について検討を加える。

2. 研究の目的

本研究は、以下の2点を目的とする（図1）。

①「鉄道旅客の時刻集中特性予測モデル」の構築および本モデルの東京都市圏への適用

鉄道ネットワーク上にODを配分して、各時間帯・各駅間輸送人員を算出するモデルを構築する。このモデルでは、鉄道利用者の出勤時刻選択行動を明示的に考慮したものとする。そして東京都市圏の鉄道ネットワークを対象に、東京都市圏の各時間帯・各距離帯について輸送人員を算出する。

②各種シナリオ下のピーク時需要の算出および将来における都市鉄道の混雑緩和方策の検討

東京都市圏を対象に、勤務制度・鉄道のサービス水準（輸送力）等についていくつかのシナリオを設定し、そのシナリオの下での鉄道旅客の時刻集中特性を算出し、この結果から将来の鉄道混雑緩和方策について示唆を与える。

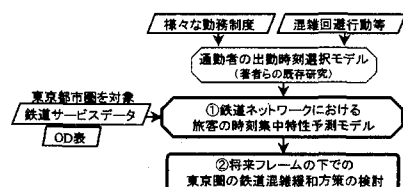


図1 本研究の全体構造

3. 通勤者の「出勤時刻選択行動モデル」の概要

著者らは文献1)で、鉄道を利用する通勤者の「出社時刻選択行動モデル」を構築した。本モデルは、通勤者の効用として以下の6項目を定義し（表1）、通勤者はそれらの効用の総和である U_i が最大となるような出社時刻（会社への到着時刻） T を各自決定するものである。

午前在宅効用 U_H : 自宅出発までの時間的余裕を表現
交通不効用 U_T : 列車乗車中の所要時間と混雑を表現
遅刻不効用 U_D : 遅刻による不効用を表現

早着不効用 U_E : 給与の伴わない無駄な在社時間による不効用を表現

集団乖離不効用 U_B : 他人より遅く出社することによる周囲への気兼ねや連絡の悪化を表現

余暇効用 U_L : 退社後の余暇による効用を表現

表1 出勤時刻選択行動モデルの各効用関数

効用	FT制適用通勤者	始業時刻固定通勤者
U_H	$20.22 \times \ln(\text{午前在宅時間}+1)$	$11.37 \times \ln(\text{午前在宅時間}+1)$
U_T	$-t_R - 0.01 \times t_R \times \{\exp(1.97 \times c(T, \text{line})) - 1\}^{2)}$ t_R : 乗車時間 $c(T, \text{line})$: 列車の混雑率	
U_D	$-7.50 \times \ln(\text{遅刻時間}+1)$	$-3.84 \times \ln(\text{遅刻時間}+1)$
U_E	なし	$-0.01 \times (\text{無給在社時間})$
U_B	$-0.66 \times (\text{乖離時間})$	$-3.92 \times (\text{乖離時間})$
U_L	$19.75 \times \ln(\text{余暇時間}+1)$	$21.48 \times \ln(\text{余暇時間}+1)$

* キーワーズ：鉄道計画、交通計画評価

** 正員、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、TEL03-3812-2111 ex)6117
FAX03-5800-6868

*** 学生員、工修、東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻

**** 学生員、東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻

通勤者の一日の行動の時間的な区切りを以下のよう
に定義する。

T_D : 自宅出発時刻 $\overline{T_G}$: 平均起床時刻 t_{ACCESS} :
駅までの平均アクセス時間 T : 出社時刻 T_S : 始業時
刻 (コアタイム開始時刻) $\overline{T_{AVG}}$: 標準労働時間
開始時刻 $\overline{T_{SL}}$: 就寝時刻 t_w : 平均在社時間
 t_N : 通勤時間 (ただし、始業時刻固定通勤者につい
ては T_D のように'をそれぞれ添えるものとする)

すると、表 1 の中の各時間アイテムは次のように
書ける。

午前在宅時間 = $T_D - \overline{T_G} - t_{ACCESS}$; 遅刻時間 = $T - T_S$;
無給在社時間 = $T'_S - T$; 乖離時間 = $T_S - \overline{T_{AVG}}$;
余暇時間 = $\overline{T_{SL}} - (T + t_w + t_N)$

ただし $\overline{T_G}$ 、 $\overline{T_{AVG}}$ 、 $\overline{T_{SL}}$ 、 t_w の値は、本研究の 5
章以下におけるモデル適用の部分では、「出勤行動
に関するアンケート調査」¹⁾による値を与え、また
 t_{ACCESS} は平成 7 年大都市交通センサスより駅ごと
に求める。

4. 「鉄道旅客の時刻集中特性予測モデル」の概要

(1) 入力データおよび出力データ

【入力】・駅間 OD 表

- ・勤務制度情報 (FT 制適用通勤者比率、各
通勤者/通学者の始業時刻等)
- ・列車運行情報 (輸送力、所要時間)
- ・「出勤時刻選択行動モデル」による鉄道
利用者の出勤行動を表す関数

【出力】・各時間帯別の各駅間輸送人員

(この値を輸送力で除せば混雑率)

(2) ネットワークの構造

ネットワークの構造を図 2 に、各リンクの定義を
表 2 に示す。

O ノード : 利用者の出発点 (自宅) を示すノード。
各駅に一つ設定し、その駅を利用するすべての通勤
者の自宅を代表させる。

時刻別駅ノード : 駅ごとに、列車が停車する時刻
ごとに設定する。

D ノード : 利用者の到着点 (会社) を示すノード。
各駅に一つ設定し、その駅付近のすべての勤務先を
代表させる。

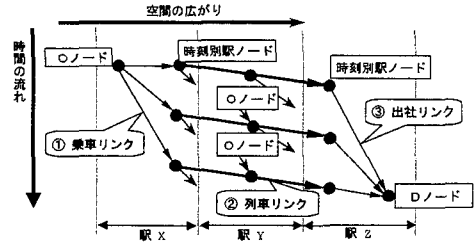


図 2 ネットワークの模式図

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
①乗車リンク	Oノード	時刻別駅ノード	自宅から列車まで
②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
③出社リンク	時刻別駅ノード	Dノード	降車から勤務先まで

それぞれのリンクコストは表 1 に基づいて、次の
ように定義する：

①乗車リンクのコスト $C_1 = -U_H$ ；②列車リンクのコスト $C_2 = U_T$ ；

③出社リンクのコスト $C_3 = U_D + U_E + U_B - U_L$

ただしここでは、各リンクコストは「不効用」を
表現しているので、表 1 の「効用」に対して符号が
逆転している。

(3) 配分方法

本モデルでは、コスト関数にパスコスト (ルート
全体の所要時間 t_N) が含まれているので、利用者
均衡配分問題として解くことはできない。ここでは、
各通勤者の不効用が最低となる時刻の前後に、通勤
者が対数正規分布に従って出勤するとして配分を行
う。ただし、対数正規分布のピークは通勤者の不効
用が最低となる時刻とし、その分散を決めるパラメ
ータは、実データを用いてキャリブレーションによ
り求める。このパラメータは FT 制適用通勤者と始
業時刻固定通勤者とは別々とする。

5. 「鉄道旅客の時刻集中特性予測モデル」の東京都 市圏への適用のための鉄道ネットワークの簡略化

東京都市圏 (70km 圏) へ本モデルを適用する際
には、現実の複雑な鉄道ネットワークを簡略化し、ま
た入力データもそれに伴って変換する必要がある。
本章では、現実の東京のネットワーク特性を保ちつ
つ、特に郊外路線の需要の時間的分布を出力するこ
とに主眼をおいて、距離帯ごとに駅を集約し路線を
1 本に集約する方法について記す。

(1) 東京都市圏の鉄道ネットワークの簡略化

東京都市圏の鉄道を都心部（ほぼ山手線の内側）とその外側の郊外部に分ける（図3）。郊外部は、「ターミナル駅」（「都心部」と「郊外部」との境界駅）を基準として「最速列車が10分間で走行する距離」を単位に各駅を「距離帯」に分割して（例、距離帯1：川崎、赤羽、北千住... 距離帯2：横浜、調布、三鷹、市川...）、各距離帯を1つの「駅ノード」とした。都心部については、「ターミナル駅」から所要時間が $10n$ （ $n=1,2,\dots$ ）分となる「駅ノード」を仮想的に4ノード設定した。

またネットワークの時間軸方向については、午前6時から正午までを、10分ごとに表現することとした（図3では時間軸方向を省略している）。

以上のような簡略化を行う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）の時間的分布形は各路線間に大きな差がない（平成7年大都市交通センサスを用いて確認）ので、出力される需要の時間的分布形は、東京都市圏の鉄道の平均的な需要特性を表現していると考えてよい。

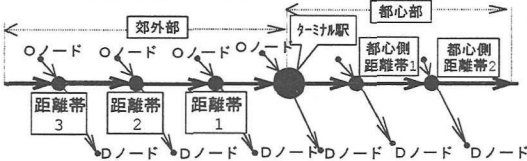


図3 東京都市圏の鉄道ネットワークの簡略化

(2) ネットワークの簡略化にともなうOD表の変換

平成7年大都市交通センサスの駅間OD表を、「距離帯間OD表」に変換するために、まず東京都市圏の郊外路線の各駅を「距離帯」と「方面」で分類し（図4）、「距離帯/方面間OD表」を作成して、それを「距離帯間OD表」に変換した（図5）。

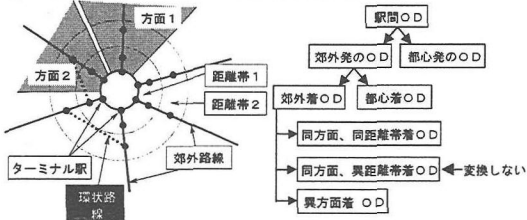


図4 方面付きのネットワーク 図5 駅間OD表の発着による分類

- 1)同方面・同距離帯駅発着OD：n距離帯からn距離帯へのODは、(n+1)からnへのODと、nから(n-1)へのODとに等分して割り付ける。
- 2)異方面発着OD：実際のネットワークをもとに、都心を経由するODと環状路線を経由するODとに分

類して、都心経由ODは都心着ODとして変換し、環状路線を経由するODは環状路線への乗換駅着のODとして変換する。

- 3)都心着OD：大都市交通センサスの実績値から、全旅客についてターミナル駅から都心部最終降車駅までの所要時間分布を求め、その分布に応じて都心を着地とする全ODを都心部の駅ノード（都心部の4距離帯）に割り付ける。
- 4)都心発OD：都心部内のみにODを割りつけ、郊外部には割り付けない。

(3) 他を入力データ（変換を伴わないもの）

- 1)走行時間：隣り合う「距離帯」間の所要時間は、ピーク時（7:30～8:40に都心着）においては定義した10分ではなく、実際の列車の時刻表データより20%増（12分）と設定した。
- 2)輸送力：各路線の時刻表より距離帯別・時間帯別の輸送力を求めた。
- 3)勤務制度：FT制適用通勤者の割合は全通勤者の8.45%³⁾とした。またFT制適用通勤者のコアタイム開始時刻分布および始業時刻固定通勤者の始業時間分布は、資料3)4)によった（図6）。

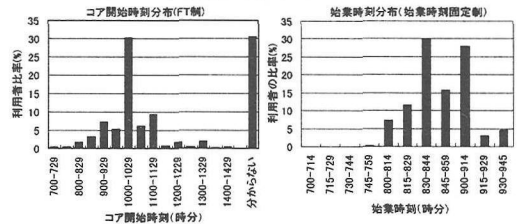


図6 コア開始時刻分布および始業時刻分布

- 4)アクセス・イグレス時間：利用者の自宅から駅までのアクセス時間および降車駅から会社までのイグレス時間は、資料3)より各距離帯についてその平均値を用いた。

6. 東京都市圏を対象とした計算結果

図7に、本モデルを用いた計算結果を示す。なお図中の実測値は、平成7年度大都市交通センサスのデータより直接算出した値である。

図7より、本モデルの計算値は概ね現状を再現していると言える。ただし、ピークより早い時間帯ではやや過大推計となっており、ピークより遅い時間帯（9時以降）ではかなりの過小推計となっている。過小推計となった理由としては、通勤者の9割以上を占める「始業時刻固定通勤者」のうち、9時15分

以降が始業時刻である通勤者の割合が統計上では少ない(図6)にもかかわらず、実際には始業時刻よりも遅く出勤する通勤者(例えば中央官庁・大学など)が少なからず存在するためと考えられる。

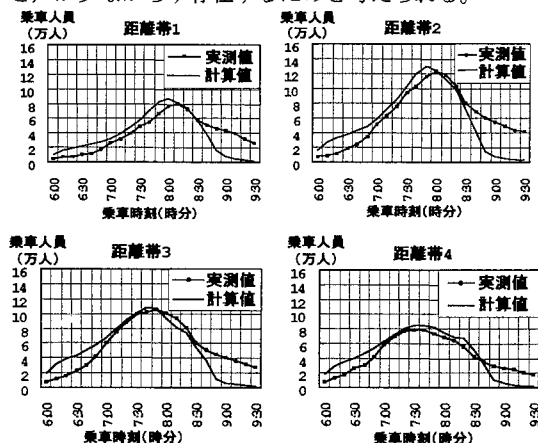


図6 東京都市圏の各距離帯での時間帯別乗車人員

7. シナリオ分析

2015年において東京都市圏で実現すると思われるシナリオについて、以下の3つのシナリオについて、本研究で構築したモデルを用いて各距離帯断面における混雑率を予測する。

◆シナリオ①：基本ケース

- 1) 現在計画中の路線がすべて完成する。このとき鉄道輸送力が現在より6%増加するとする。
- 2) 従業人口が減少する。ここでは、乗車人員が現在より4%減少するとする。

◆シナリオ②：輸送力増強の実現が容易なケース

シナリオ①に加えて、ピーク前後のそれぞれ30分間の輸送力が、ピーク時の90%までに増加する。

◆シナリオ③：最も混雑が緩和されと思われるケース

シナリオ②に加えて、FT制が浸透し、FT制適用率が30%となる。

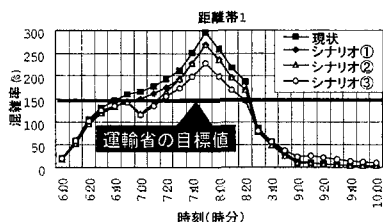


図8 東京都市圏の距離帯1発断面での混雑率

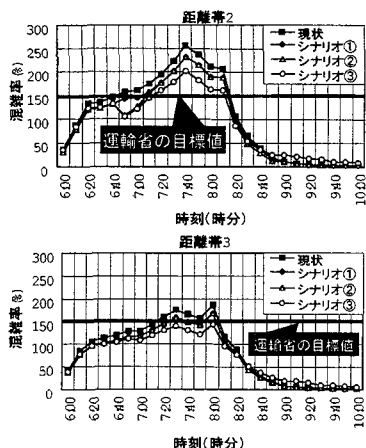


図9 東京都市圏距離帯2,3発断面での混雑率

図8、9より、シナリオ①では、東京都市圏の鉄道混雑は現状よりも改善されるが、運輸省が設定した「最大混雑率150%以下」という目標の達成は困難であることがわかる。シナリオ②ではある程度混雑が緩和されるが、シナリオ①と比べてピーク時の混雑率はほとんど変わらない。一方、シナリオ③では、FT制の広がり、需要分散に対して有効に働くことが示される。しかしシナリオ③のような最も楽観的なケースにおいても、最も混雑が激しい都心付近の距離帯では、最大混雑率が運輸省の目標値まで達成することが困難であることがわかる。

このことから、東京都市圏の鉄道の混雑を緩和していくためには、人口の減少やFT制の浸透などを最大限に考慮したとしても、ピーク時の輸送力増強のための設備投資がこれからも必要であることが示唆される。

謝辞：本研究を進めるにあたり、東日本鉄道文化財団より研究助成をいただいた。ここに謝意を記す次第である。

参考文献

- 1) 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.
- 1) 志田 州弘・古川 敦、赤松 隆・家田 仁：通勤鉄道利用者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 No12, pp.519-527, 1989
- 2) 平成7年大都市交通センサス
- 3) 通勤時間全国調査、国土庁
- 4) オフピーク通勤による混雑緩和効果の解析、調査報告書、(財)運輸経済研究センター、1995
- 5) 「東京圏の鉄道整備のあり方」に関する提案、(社)日本プロジェクト産業協議会 (JAPIC)、交通輸送委員会、1997