

列車ダイヤパターンと利用者便益との 関連性に関する分析

An Analysis of
Train Scheduling pattern and user's Benefit

古川 敦^{*}・高木 淳^{*}・家田 仁^{**}

by Atsushi FURUKAWA, Jun TAKAGI and Hitoshi IEDA

This paper presents the application of a method for evaluating a train scheduling from the view point of user's benefit to some major private railways in Tokyo metropolitan area and Osaka area. At first we evaluate every train schedulings by the criteria which was proposed in our previous research. And then each factors of user's disutility such as the cost of time of boarding a train, time of waiting a train, congestion, and so on are analyzed in relation to the pattern of train schedulings

keywords: train schedule pattern, user equilibrium, user's benefit

1. はじめに

首都圏、大阪圏等の通勤鉄道混雑は年々その激しさを増してきており、特に近年東京への一極集中が進む首都圏では、就労者の居住地の郊外への展開と共に遠距離通勤旅客も増加し、片道所要時間が1時間を越える旅客も珍しくない。この様に考えると利用者が通勤交通から被る損失は膨大な量となるであろう。一方、この混雑緩和策として第2常磐線建設や、特定都市鉄道整備積立金制度を利用した大規模設備投資が行われようとしているが、これらは長い建設期間や莫大な用地取得費等の問題から必ずしも円滑に進展しているとは言えない状況にある。この様な状況下、既存の施設を有効に活用した列車運行

計画を設定して利用者便益の向上を図ることは、長期的な設備投資を補う中短期的施策として重要であると考えられる。この様な背景の下、本研究では首都圏、大阪圏の私鉄12社15線区の通勤列車ダイヤについて利用者便益の立場から比較分析を試みたものである。

さて、ひとくちに私鉄15線区といってもその置かれている状況は各社各様である。そのため各社の設定しているダイヤもまた各社各様である。ダイヤの設定に対する内的（鉄道会社側の）制約としては待避駅の位置、駅構内配線、閉塞区間長等があり、外的要因として駅間交通量分布がある。この様な制約条件の下、列車運行サイドである鉄道会社は列車種別の設定、その停車駅の選択、列車種別構成比等の制御変数を適宜決定することによって列車ダイヤを設定している。ここで問題となるのは、ダイヤ作成者はどのような基準でこれらの変数を決定しているのかということであるが、現状では物理的制約、

* 学生会員 東京大学大学院工学系研究科 修士課程
(〒113 文京区本郷7-3-1)

** 正会員 工博 東京大学助教授 工学部土木工学科

社会的要請（特に優等列車停車駅については）、並びに”スジ屋”と呼ばれるダイヤ作成者の職人的勘に依存している。これに対し筆者らは文献¹⁾により列車ダイヤの定量的評価方法を提案したが、本来列車ダイヤの制御変数はこのような定量的指標によってこそ決定することが望ましいと考えられる。しかしダイヤの作成には様々な制約条件が絡んでくるので、最適ダイヤ作成問題をこの様な定量的指標を評価関数とする数理計画問題とすることは大規模な路線においては現実的ではない²⁾。そこで次善の策としてダイヤ作成に際し、いくつかの代替案を用意しこれらの中から評価指標の値が最適なものを選択するという方策が考えられるが、実際にダイヤを作成するには実務上多大な時間と労力が必要となる。

そこで本研究は最適ダイヤ提案までの1ステップとして、実際に運行されている15の列車ダイヤの形態をいくつかのパターンに分類し、各列車ダイヤを定量的に評価することによって、各ダイヤパターンの特徴を把握し、適切なダイヤパターン設定の一助たらしとするものである。

2. 列車ダイヤの各種パターン

1. で述べたように各社の列車ダイヤは各社各々の特徴があるが、基本的には以下に述べる4つのパターンに分類できる。これらのパターンは地上設備、及び沿線の旅客流動、ないしは各社の企業戦略に応

じて選択される。

①平行ダイヤ（図2-1）

単一の列車種別によるダイヤ。ダイヤ図表上で各列車のスジの傾きが平行となるのでこう呼ばれる。最も多くの列車本数を設定することが可能である。このため列車の運転本数を増すために、優等列車の速度を普通列車並に落として形の上では平行ダイヤの形態をとる線区もある。

②緩急結合ダイヤ（図2-2）

路線内に複数ある待避設備を持った拠点駅において普通列車と優等列車の接続を図るダイヤ。拠点間及びその周辺の移動の便を図ると共に、緩急接続により優等列車通過駅の利用者の所要時間短縮を狙いとしたダイヤである。

③緩急分離ダイヤ（図2-3）

優等列車通過駅で待避を行い、緩急相互の乗り換えを不可能としたダイヤ。このため利用者の列車選択の余地は狭まる。一種の需要管理施策に基づくダイヤともいえる。

④乗車地域別列車設定型（図2-4）

路線をいくつかのゾーンに分割し各々のゾーンに異なる列車種別を設定する。各列車は各々のゾーンで集客した後ノンストップでターミナルへ向かう。利用者の大部分が大都市ターミナル利用者の場合に遠距離利用者の時間短縮をを目的に設定される。

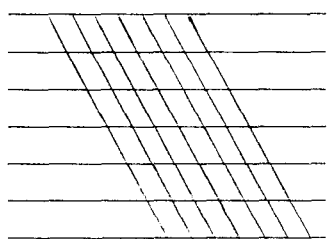


図2-1 平行ダイヤ

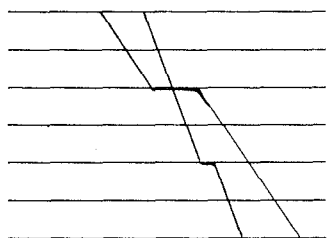


図2-3 緩急分離ダイヤ

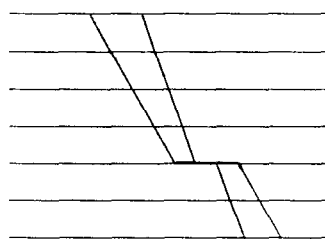


図2-2 緩急結合ダイヤ

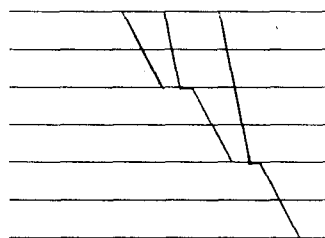


図2-4 乗車地域別列車設定ダイヤ

3. 評価路線

本研究で比較分析を行った路線及びその概要を表3-1に示す。解析対象時間帯は朝ラッシュ時1時間とした。

実際の列車ダイヤは、2章で述べた1～4のパターンの2つ以上の組合せであるため、各ダイヤをいずれかの分類することは必ずしも容易なことではないのだが、表3-1では以下の点に留意して分類した。

- ・平行ダイヤ：優等列車より緩行列車の方が多い。後発の優等列車よりも先発の緩行で目的駅に早く着くことができる。複々線で運行形態が緩急分離されている。
- ・緩急結合：優等列車が続行運転している。このため緩行列車は1つの待避駅で複数の優等列車と接続する。

- ・緩急分離：優等列車通過駅での待避が多い。
- ・乗車地域別列車設定：列車の停車駅、運転区間が地域毎に分離されている。

4. 列車ダイヤの評価方法

(1) 列車ダイヤの時空ネットワーク化

本章では、列車ダイヤを定量的に評価する方法について説明する。なお、本章の内容の詳細な説明については、参考文献¹⁾を参照されたい。

列車ダイヤを利用者の立場から定量的に評価するためには、利用者がダイヤ上でどの様に列車を選択しているかを再現しなければならない。そこで列車ダイヤを、時空ネットワークとして表現し利用者の行動をそのネットワーク上のリンクフローとして捉えることとする。また利用者の列車選択要因として

表3-1 列車ダイヤ比較分析の適用線区

	路線名	対象区間	ダイヤ設定時	最混雑断面 通過人数*	列車 回数	ダイヤパターン
1	・京成本線 同 押上線	成田空港→上野 青砥→押上	1988.4.1	31090人	20	緩急分離型
2	・東武伊勢崎線	動物公園→浅草	1988.6.10	77106	40	平行ダイヤ
3	・西武池袋線	西武秩父→池袋	1987.12.7	74500	28	緩急分離型
4	・小田急電鉄	全線	1988.3.22	74940	29	緩急分離型
5	・東京急行電鉄					
6	田園都市線 東横線	中央林間→渋谷 桜木町→渋谷	1987.9.26 1986.4.1	61273 57473	19 27	平行ダイヤ 平行ダイヤ
7	・京浜急行本線 同 久里浜線 同 逗子線	浦賀→泉岳寺 三崎口→堀ノ内 新逗子→金沢八景	1987.12	53191	24	緩急結合型
8	・相模鉄道	全線	1987.10.26	57076	28	乗車地域別列車設定型
9	・近鉄奈良線	近鉄奈良→難波	1988.3.18	51330	25	乗車地域別列車設定型
10	・京阪本線	三条→淀屋橋	1988.5	63994	44	乗車地域別列車設定型
11	・阪急京都線	河原町→梅田	1988.4.1	40533	25	緩急分離型
12	同 神戸線	三宮→梅田	1987.12.13	46783	26	乗車地域別列車設定型
13	・阪神本線	元町→梅田	1984.12	28071	26	緩急結合型
14	・南海本線	和歌山市→難波	1987.3.27	30090	22	乗車地域別列車設定型
15	同 高野線	高野山→難波	1987.3.29	50096	25	乗車地域別列車設定型

(* 最混雑断面通過人数，列車回数の値は昭和63年度都市交通年報によるラッシュ時1時間の値。)

乗車時間、混雑度、待ち時間、乗り換えの4項目を考える。ネットワークは、これら4つの列車選択要因を表現するために、乗車リンク、待ちリンク、乗り換えリンク等から構成されている。また乗車リンクのコストはフローディペンデントな関数とし混雑度に依存した利用者の列車選択行動を再現する。

(2) 利用者行動原理

本研究は大都市圏鉄道路線の通勤混雑問題に対する1つのアプローチとして位置づけられる。従って解析の対象となる利用者は主に通勤通学者である。そこで本研究では、利用者の行動原理として、利用者均衡配分モデルを適用する。これは、通勤通学者が日頃の交通行動を通して、自分にとって最適な経路を学習し選択し得るとの仮定に基づいている。

また、大都市圏通勤路線では列車運行間隔は十分小さいと見なせるので、「利用者は駅に様な密度で到着している」³⁾との仮定を置いた。

(3) 不効用関数形とパラメータ値

(1)で述べた利用者の列車選択要因に基づく乗車駅から目的駅への利用者の被る不効用 U は以下ようになる。

$$U = \text{乗車時間} + \alpha \times \text{混雑不効用} \\ + \beta \times \text{待ち時間 (乗車時、及び乗換時)} \\ + \gamma \times \text{乗換回数}$$

α , β , γ はそれぞれ乗車時間に対する、混雑不効用、待ち時間、乗換一回当りの抵抗感、の重みを表わすパラメーターである。列車混雑度の関数である混雑不効用 U_c は、混雑度に対する単調増加性、列車容量の制約を考慮し、以下のような関数形を用いた。なお μ は列車の容量制約を表わすパラメーターである。

$$U_c = \frac{\text{乗車人員}}{\mu \times \text{列車定員} - \text{乗車人員}}$$

α , β , λ , μ の4つのパラメーターは、東武東上線において本モデルを適用し、列車別駅間交通量と、計算された列車別駅間交通量との誤差が最小となるように推定し以下のような結果を得ている。¹⁾

$$\alpha=0.22, \beta=1.6, \gamma=4.5, \mu=3.5$$

よって今後の計算ではパラメーターは上記の値を用いることとする。

ここで東武東上線で得られた値を他線区に適用するにあたっては、パラメーターの空間移転性の問題が生じて来る。ここではこれらのパラメーター値が空間移転性を持つかどうかについて、具体的な検証は行っていない。しかし、さきに同様の理論を用いて営団地下鉄丸の内線で乗車位置選択行動推定を行った際に算出された混雑不効用関数⁵⁾や、ロジットモデルを用いて京王井の頭線における乗車位置選択行動推定を行った際に求められた混雑不効用関数⁴⁾と、今回得られた混雑不効用関数を比較すると(図4-2)、かなり類似した形状の関数となっていることから、概ね問題はないと判断した。ただし、この空間移転性の問題については、現在その検証のための計算を行っているところである⁷⁾。

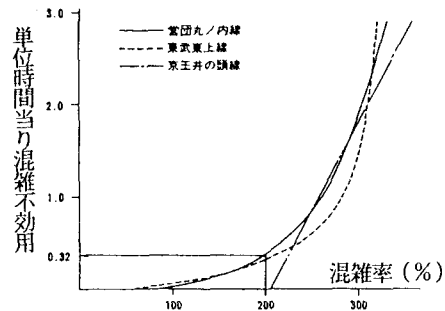


図4-1 混雑不効用関数の推定結果

5. 評価指標の定義

前章で述べた方法により各列車駅間交通量や乗換人数、並びに各種不効用がネットワーク上のリンクフローとリンクコストとして求まるが、ここではダイヤを定量的に評価するためにこれらのネットワーク変数を用いて算出される適切な評価指標を設定する。ここで注意すべき点は各種制約条件の異なる複数線区を相対的に評価するために、評価指標は輸送人員や輸送時間によらない基準化された値でなければならないということである。

さてこのような評価の指標を考えると、その視点として次の2つを考える。一つは、資源配分の効率性であり、もう一つは資源配分の公平性である。そこで本研究では列車ダイヤの評価指標として次の2つの値を用いることとする。

このように図6-3からは、一般的に平均速度が同程度の場合平行ダイヤ型と緩急分離型は乗車時間指数が高めに、緩急結合型と乗車地域別列車設定型は乗車時間指数が低めになることが判る。

b) 混雑不効用

混雑不効用は、列車の混雑度と乗車時間の関数であるので、図6-1,2 に示された混雑不効用指数の値からは、列車の混雑度が激しいのか、混雑の継続時間が長いのかは判断できない。そこでこの両者の関係を把握するために、横軸に乗車時間指数、縦軸に混雑不効用指数をとると図6-6 のようになる。この図から混雑不効用指数が同等の線区同士でも、横軸の値が小さい線区は混雑の激しさが、横軸の値が大きい線区は混雑継続時間の長さが混雑不効用に効いてくることが判る。このため後者のような路線では、混雑不効用軽減策として列車の速度向上があげられる。

混雑不効用指数の値は線区の輸送量に依存するためダイヤパターンと混雑不効用指数の関係を一般的に捉えることは困難であるが、各ダイヤパターンの速度と列車種別々乗車率から、大雑把に次のようなことがいえる。まず平行ダイヤ型は列車本数を最も多く設定できるため平均混雑率は下がり、また列車ごとの乗車率のばらつきも小さくなるが混雑継続時間は増加する。緩急結合型では利用者の多くは優等列車を利用するので優等列車の輸送力が、緩急分離型では優等列車の利用可能者が限られてくるため緩行列車の輸送力がそれぞれ混雑不効用を左右する。乗車地域別列車設定型は、各ゾーンにそのゾーンの利用者数に応じた輸送力を配分することが必要となる。いずれにせよ混雑不効用を軽減するには、列車速度と混雑率の兼ね合いを図りながら、図6-6 上で左下方向へ移動するのが妥当であろう。

c) 乗車時待ち時間不効用

評価指標として用いている不効用指数は基準移動時間で基準化しているので、短距離移動者が多い路線では総不効用に対する乗車時待ち不効用が大きくなる。このことを加味して乗車時待ち時間を考察するため、横軸に平均移動距離、縦軸に総不効用のうち乗車時待ち時間の占める割合をとると図6-7 の様になる。この図で、平均移動距離がほぼ等しい阪神電鉄と東急東横線を比べると、阪神電鉄の待ち時間

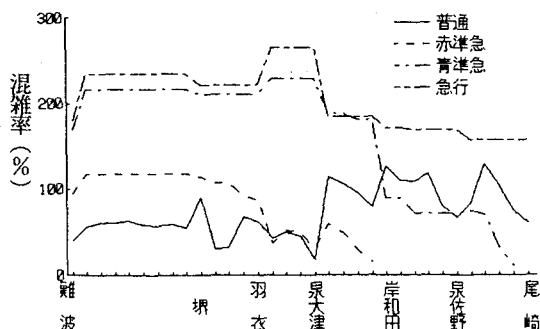


図6-4 南海本線の列車種別々混雑率

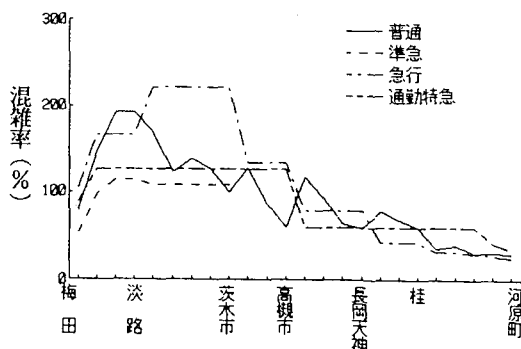


図6-5 阪急京都線の列車種別々混雑率

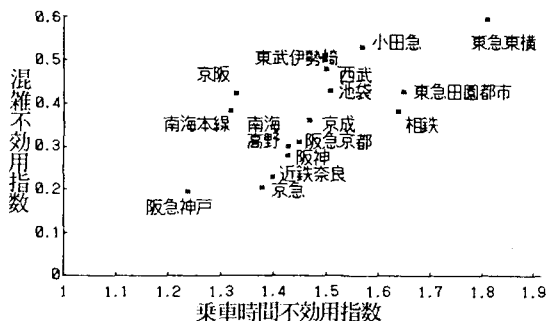


図6-6 混雑不効用指数と乗車時間指数との関係

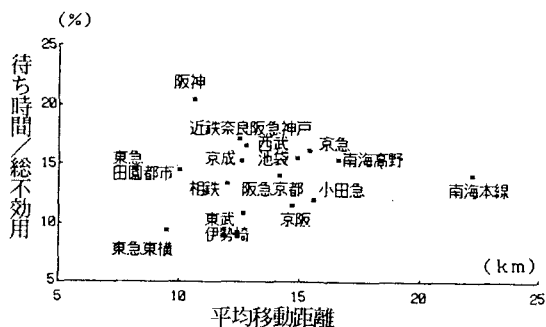


図6-7 平均移動距離と乗車時待ち時間不効用の割合の関係

の割合が大きい。この原因として、阪神電鉄は緩急結合ダイヤであるため列車の運行間隔が不均一になる傾向があること、逆に東急東横線は今回扱った路線の中では最も平行ダイヤに近いパターンのダイヤであるため、列車運行間隔が均等であることが挙げられる。また南海本線が、平均移動距離が他線と比べて長いのに待ち時間の割合が変わらないのは、路線の運行本数の少ない末端区間で運行間隔がまばらになるためであると考えられる。

d) 乗換待ち時間

乗換待ち時間指数はその絶対値が小さく定量的な考察を加えることは適当でないと考えられるので、ここでは他線区と比較して乗換不効用の大きいいくつかの線区についてダイヤパターンと乗換待ち時間の関係について定性的に考察するにとどめる。まず緩急結合路線である阪神電鉄と京浜急行は、緩急接続駅での乗換待ち時間は必然的に増えると考えられる。また東武伊勢崎線で乗換待ち時間が大きいのは、この線の利用者の多くは北千住で営団地下鉄日比谷線に乗り換えるが、伊勢崎線から日比谷線への直通列車はすべて伊勢崎線内は普通列車であるため、全乗客のかなりの割合を占める準急利用者が、北千住での乗り換えを余儀なくされているためである。

(2) 不公平性指数

まず図6-8に路線別総不公平性指数を示す。これを見てまず目につくのは緩急結合ダイヤである京浜急行と阪神電鉄の指数の大きさである。逆に平行ダイヤに近い形の東急東横線や東武伊勢崎線は、各駅とも均等に列車が停車するので不公平性指数の値は小さい。緩急分離型ダイヤと乗車地域別列車設定ダ

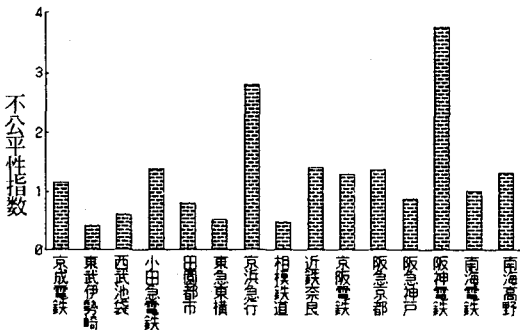


図6-8 路線別不公平性指数

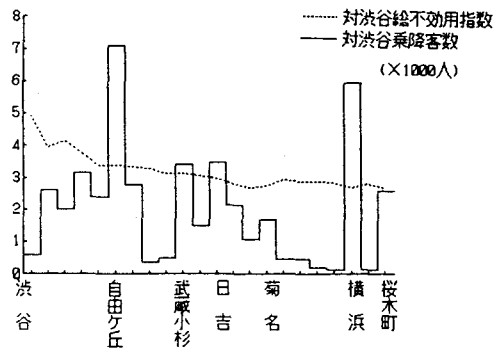


図6-9 東急東横線対渋谷総不効用指数

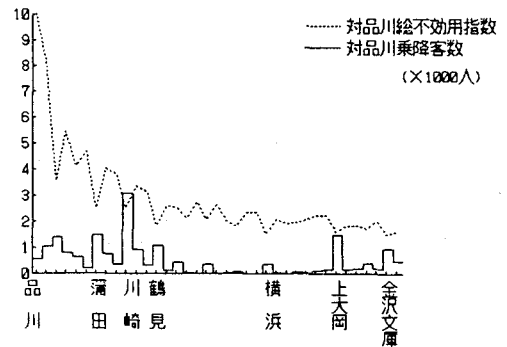


図6-10 京浜急行線対品川総不効用指数

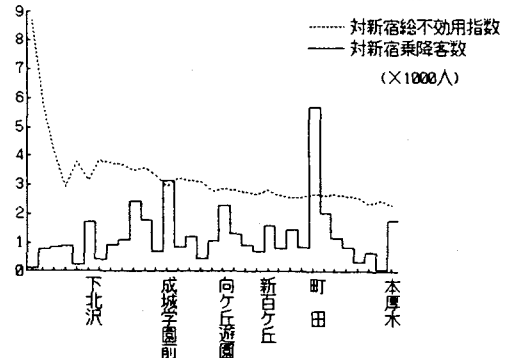


図6-11 小田急線対新宿総不効用指数

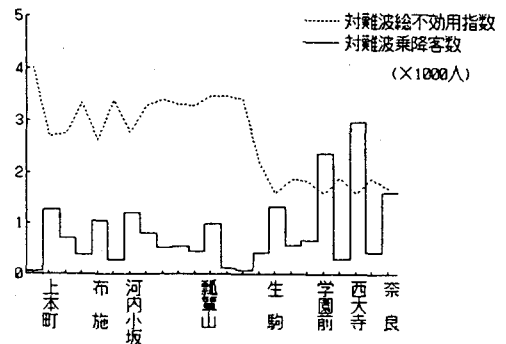


図6-12 近鉄奈良線対難波総不効用指数

ダイヤは不公平性指数がこの中間となる。このダイヤパターンと不公平性の関連について更に考察するために、各ダイヤパターンを代表して東急東横線、京浜急行線、小田急線、近鉄奈良線について対ターミナル総不効用指数の分布を示す。(図6-9~12)

図6-9,10から平行ダイヤ型では各駅ごとの総不効用指数の分布に大きなばらつきがないのに対し緩急結合型ダイヤでは優等列車の停車駅とそうでない駅との間で対ターミナル総不効用指数の値にばらつきがあることがわかる。また緩急分離型ダイヤは緩急結合ダイヤと同様多少のばらつきが生じるが、この型のダイヤの場合緩急結合型ほど極端な優等列車優先のダイヤである場合は少なく、駅ごとの総不効用指数のばらつきも小さくなっている。また乗車地域別列車設定型の例である近鉄奈良線はゾーンの境界である生駒を境に難波側と奈良側では総不効用指数の値に大きな格差が見られ、このパターンのダイヤの特徴となっている。

7. まとめと今後の課題

以上、各ダイヤパターンの特徴を利用者便益の観点から考察した。これらの特徴を簡単にまとめておく。

・平行ダイヤ

列車速度が遅い。このため混雑不効用には混雑継続時間の長さが効いてくる。運行間隔が均等なため待ち時間は小さい。また公平性も高い。

・緩急結合型

列車速度が早い。優等列車に乗客が集中し混雑度が大きくなる場合もある。運行間隔が不均等なため待ち時間が大きくなる。優等列車停車駅と通過駅では公平性にばらつきがある。

・緩急分離型

優等列車の利用可能者が限られてくるので、速達列車が有効に利用されない。優等列車最優先の運行形態ではないのでほとんどの公平性を持つ。

・乗車地域別列車設定型。

主として遠距離利用者の便を図っているため、速

達性は高い。地域により公平性にばらつきがある。

実際に列車計画を行う際には、これらダイヤパターンの特徴と、計画を行う路線の駅間交通量分布に留意する必要がある。このため今後の研究方向としては、駅間交通量分布とダイヤパターン、並びに利用者便益の関係を把握し、駅間交通量分布が与えられた場合にどのようなダイヤパターンを選択すべきかを解明することがあげられる。

最後に、本研究は文部省科学研究助成金(課題番号63750548)の補助を受けて行われたものであることを記し、ここに謝意を表する。また快くデータを提供して頂いた民鉄各社の関係者の方々に深く感謝する次第である。

参考文献

- 1) 家田仁・赤松隆・高木淳・畠中秀人: 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, pp.177~184, 1988年11月
- 2) 赤松隆・古川敦・家田仁: 利用者便益からみた列車ダイヤ最適化に関する基礎的研究, 土木計画学研究・講演集No.6, pp.243~250, 1988年11月
- 3) 家田仁・後藤貞二・松本嘉司・島崎敏一: 通勤者における消費時間弁別関の確率的評価, 土木学会論文集, 第383号, pp.73~81, 1987
- 4) 美谷邦章・家田仁・畠中秀人: 乗車位置選択行動モデルを用いた混雑費用の定量的評価法, 土木計画学研究・論文集No5.1987年11月
- 5) 家田仁: 鉄道混雑の経済学-混雑費用を評価する-, トランスポート, pp.66~70, 1988年6月
- 6) 運輸経済研究センター: 都市交通年報, 昭和63年度版
- 7) 志田州弘・古川敦・赤松隆・家田仁: 通勤鉄道利用者の不効用関数パラメーターの移転性に関する研究, 土木計画学研究・講演集No.12, 1989