

混雑を考慮した通勤列車運行ダイヤと停車駅選択に関する研究*

A study on commuter train scheduling considering congestion*

齋藤裕太**・浅野光行***

By Yuta SAITO**・Mitsuyuki ASANO***

1. はじめに

首都圏をはじめ大都市の通勤鉄道の混雑は以前に比べいくらか改善したものの、現在も大きな社会問題となっている。混雑の他にも、短時間に大量の利用者が集中することによる列車の運転速度低下や、乗降車にかかる時間の増大による遅延の発生など、改善すべき問題は多様である。これらの問題を抜本的に解決するためには、線路容量の増加などの交通基盤施設建設による供給増大策が必要不可欠であるが、大規模な工事となり相当の費用と工期を要するため早急に問題を解決することは難しい。それに対し、ダイヤ変更は複雑な鉄道ネットワークが構築された現在の鉄道路線では一朝一夕でできるものでないものの、交通基盤施設建設に比べれば、短期でかつ最低限の投資で行うことができる。また、利用者の行動は列車ダイヤによって変化するが、特に朝通勤時間帯は、毎日同じ時間帯・同じ区間に乗車し「どの列車に乗るのが自分にとって都合がよいか」を経験的に心得ている利用者が多く、行動が列車ダイヤに左右される傾向が強いと考えられる。したがって列車ダイヤを改善することは、朝通勤時間帯における諸問題を改善するための有効な手段であり、その客観的な方法論の開発が求められている。

2. 研究の位置付け

(1) 既存研究の整理

列車ダイヤの改善に関する研究を分類すると、「①ダイヤの評価に関するもの」「②ダイヤパターンの作成・提案に関するもの」「③実線区における望ましいダイヤパターンの選択に関するもの」の3つに大きく分けられる。

①については、家田ら¹⁾により、利用者の便益を総合的に取り込んでダイヤを一定の客観性を持って評価する枠組みが提案された。その後、事業者の費用評価も加えてコンピュータでの分析が可能となっている²⁾。近年は朝ラッシュ時だけでなく、さまざまな価値観を持った旅客が存在するタラッシュ時などでの分析が行われており³⁾、今後は曜日・時間帯などの状況に応じた旅客の着席ニーズ、目的地までの速達ニーズの傾向をより把握していくことが望まれよう。

②については、列車ダイヤの直接的な最適化が関連する。しかし、実際にはこれは諸々の制約条件から容易ではなく、連続関数である時隔の最適化⁴⁾と、混雑の影響を考えなくて済む都市間鉄道の停車パターン改善法⁵⁾が提案されるにとどまっている。

③に関しては、需要特性に適合した運行計画の素案を提示し、①によって評価選定するという手段が主になっている⁶⁾。

(2) 本研究の意義

本研究は、停車駅パターンの選択する際の一助となることを目的とし、首都圏の輸送需要の特性の把握を行い、停車駅のパターンを変化させたモデル路線上で利用者均衡配分法により利用者便益(総損失)を算出評価し、輸送需要特性ごとに最も効用の高い停車駅パターンの特性を明らかにする。

既存研究の分類と比較すると、本研究は「②ダイヤパターンの作成・提案に関するもの」「③実線区における望ましいダイヤパターンの選択に関するもの」にあたるが、既存研究では所与の条件であった停車駅パターンの分析を行う点に意義があると考えられる。

3. 大都市における通勤路線の現状分析

(1) 朝通勤時間帯における混雑の状況

図-1のように昭和50年の時点では平均221%あった混雑率は現在171%まで下がっている。これは輸送人員が頭打ちになったことと、各事業者の努力による輸送力の増強によるところが大きい。しかし、ここ5年間は混雑率、輸送力、輸送人員ともに変化は見られない。

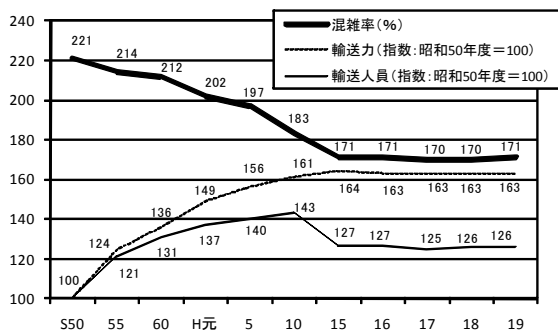
*キーワード：列車運行計画、停車駅選択

**学生員、早稲田大学大学院創造理工学研究科建設工学専攻

***フェロー会員、工博、早稲田大学創造理工学部社会環境工学科教授

(東京都新宿区大久保3丁目4番地の1 51号館15階07室、

TEL03-5286-3408、FAX03-5272-9723)



図一 東京圏の最混雑区間における各指数の推移⁷⁾

(2) 輸送需要パターンの分類

各路線における輸送需要パターンを、起終点間と途中駅の輸送需要パターンごとに、以下の a)、b) の組み合わせに分類する。

a) 起終点間の輸送需要パターン

- 起終点二つのターミナル間の需要が卓越して大きい「都市間タイプ」
- 郊外の各駅からターミナル駅へ通勤者を運ぶ「フィーダータイプ」

b) 途中駅の輸送需要パターン

- 各駅相互間に相当量の需要がある「フラットタイプ」
- 途中でいくつかの駅に乗客が集まる「複心タイプ」

(3) 朝通勤時間帯の停車駅パターンの分類

昼夜間帯と異なる停車駅パターンを採用するなど、朝通勤時間帯の停車駅パターンは路線ごとに様々であるが、概ね以下の5つに分類した。これらのパターンは、輸送需要特性や輸送システムなどの制約条件や、各社の企業戦略に応じて選択されていると考えられる。図-2 にそれぞれの例の停車駅パターンを示す。

a) 全列車各駅停車(例:京王井の頭線)

全ての列車が全ての区間にわたって各駅に停車する。したがってダイヤは平行となり列車間の追抜きは発生しない。

b) 全区間に優等列車を設定(例:東急東横線)

各駅停車の他に全区間にわたって優等列車^{注1)}を設定する。優等列車は途中駅で各駅停車と接続・追抜きを行う。

c) 都心側のみ優等列車を設定(例:東武東上線)

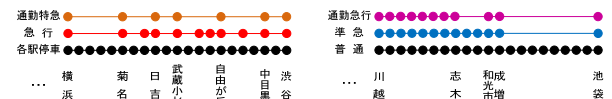
郊外側の区間では全列車が各駅に停車し、都心側の区間のみ一部列車が通過となり各駅停車と接続・追抜きを行う。

d) 郊外側のみ優等列車を設定(例:東急田園都市線)

c) とは逆に郊外側の区間でのみ優等列車を設定し、都心側の区間では全列車が各駅に停車する。郊外側の区間のみ各駅停車との接続・追抜きが行われる。

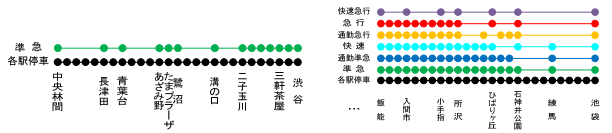
e) 列車種別ごとに停車駅を変化(例:西武池袋線)

列車種別ごとに停車する駅のパターンを変化させ、待ち時間と乗車時間の減少を図る。



東急東横線

<c>東武東上線



<d>東急田園都市線

<e>西武池袋線

図-2 各路線の停車駅パターン^{注2)}

(4) 列車退避の分類

複々線となっている場合を除き、1つの線路上に速度の遅い各駅停車と速度の速い優等列車が運転されている場合、列車退避が生じる。本研究では、その形態について以下のa)、b)の2つに分類する。

a) 緩急分離(図-3)

追い抜きが発生する駅には優等列車が停車しない。そのため、そこでの各駅停車・優等列車相互間での乗り換えはできない。各駅停車から優等列車へ乗り換える場合は列車退避が行われる手前の駅で、優等列車から各駅停車へ乗り換える場合は列車退避が行われた後の駅を利用する。旅客の乗り換え待ち時間は増えるが、優等列車が通過する線路には必ずしもホームを設ける必要がないため、b)に比べると少ない設備投資、制約条件の下で行える。

b) 緩急接続(図-4)

追い抜きが発生する駅に優等列車が停車する。そのため、そこでの各駅停車・優等列車相互間での乗り換えが可能となる。乗り換えは同一ホームで行える場合と、そうでない場合がある。旅客の乗り換え待ち時間は最少となるが、優等列車が通過する線路にも必ずホームを設ける必要があり、a)に比べると多くの設備投資がかかり、土地の広さなどの制約条件を満たす必要がある。

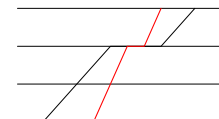
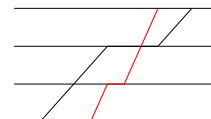


図-3 緩急分離

図-4 緩急接続

(5) 近年の朝通勤時間帯のダイヤ変更の傾向

混雑率が減少している路線では、優等列車の速達化が図られる傾向にあり、2008年6月に改正された東武東上線のダイヤ^{注3)}などに例が見られる。

これに対し、依然として混雑率が高い路線では優等列車の各駅停車化が図られる傾向にあり、2007年4月に

改正された東急田園都市線のダイヤ^{注4)}などに例が見られる。

4. 列車ダイヤの評価

(1) 利用者均衡配分法による列車ダイヤの評価

赤松ら⁴⁾により提案された、列車ダイヤ計画の定量的な評価法の概要は以下のとおりである。本研究ではこの評価法を用いる。

a) 列車ダイヤの時空ネットワーク化

ダイヤ上の時刻を追っての列車選択、乗り換えのための駅と列車選択などの(準)動的な交通需要分析を、乗車リンク・待ちリンク・乗り換えリンク・下車リンクなどから構成される静的な時空ネットワーク上として表現する。

b) 利用者行動原理

混雑の著しい朝ラッシュ時の鉄道利用者は、情報が完全であっても常に一番早い列車を選択するわけではない。そこで各リンクに乗車時間や待ち時間、混雑などを反映した不効用関数を対応させ、利用者は上記の時空ネットワーク上で不効用を最小化するように列車を選択すると仮定した、「利用者均衡配分法」を用いて利用者の列車選択行動をモデル化する。

また鉄道利用者を端末交通手段別に、自分で利用時間を設定できる場合(予定行動旅客)とそれが難しい場合(ランダム到着旅客)とに大別する。内訳は図-5のようになっており、予定行動旅客については待ち時間による不効用(待ちコスト)は考えない。本研究のモデル路線での分析ではランダム行動旅客の割合として図-5の値を用いた。

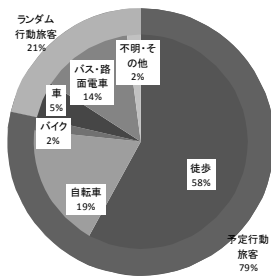


図-5 首都圏鉄道駅へのアクセス状況⁸⁾

c) 不効用関数形とパラメータ値

利用者の不効用は、 r 駅と s 駅の間 OD ペアの第 k 番目経路に対し次式で表されるとした。

$$tC_k^{rs} = \sum_a \{tC_a(x_a) + \alpha \cdot tW_a + \beta \cdot tN_a\} \cdot \delta_{ak}^{rs} \quad (4-1)$$

ここで、

- x_a : リンク a の交通量
- tC_a : リンク a の乗車コスト
- tW_a : リンク a の待ちコスト
- tN_a : リンク a の乗換えコスト

α : 待ち時間不効用パラメータ

β : 乗換え不効用パラメータ

なお朝通勤時間帯は列車間隔が短いことから、ランダム行動旅客は時間的に一様に到着するとし、当該列車と先発列車の運行間隔の 1/2 を待ち時間として用いた。また、乗車コストには乗車時間と混雑不効用関数が含まれる。そこで、混雑不効用関数は混雑度に対する単調増加性と列車容量の制約を考慮し、次のような Davidson 関数形を使用した。

$$tC_a = \left\{ 1 + \lambda \cdot \frac{x_a}{\mu \cdot CAP - x_a} \right\} \cdot tB_a \quad (4-2)$$

ここで、

CAP : 一両当たり列車定員×編成両数

tB_a : リンク a の通過所要時間

λ, μ : 混雑不効用パラメータ

ただし、この関数は着席者・立席者の区別はせず、混雑度とそれに対応した全利用者についての平均的な不効用との関係を表すものである。

なお各パラメータは文献⁹⁾におけるパラメータ移転性検討の結果から概ね標準的と考えられる、東武東上線におけるリンクフローデータを用いて推定された、 $\alpha = 1.6$ 、 $\beta = 0.15$ 、 $\lambda = 0.22$ 、 $\mu = 3.5$ を用いた。

d) 利用者便益評価

利用者の視点からダイヤを評価する場合、利用者全体からみた効率性、利用者間での公平性などの評価の視点が考えられる。そのうち、本研究では利用者全体から見た資源配分の効率性を評価することとし、利用者全体の総不効用を、配分計算の結果から得たリンクフローとリンクコストの積和を取ることで(人・時間)の単位で表した。

(2) JICA STRADA を用いた分析

本研究では、前述した利用者均衡配分法の計算に、交通需要予測パッケージ JICA STRADA (ver. 3.0) を用いた。JICA STRADA の各プログラムは、画面对応のユーザーインターフェースを持っており、視覚的に確認しながら交通需要予測が実施できるようになっている。

本研究で行った手順は以下のとおりである。

- ① Matrix Manipulator で駅間 OD 表を作成する
- ② Network Editor で図-6 のようなネットワークを作成し、リンクコストを設定する
- ③ User Equilibrium Assignment で入力ファイル、出力ファイルを指定し計算する
- ④ Highway Reporter で各リンクフローを表示する
- ⑤ 表示された各リンクフローとそのリンクコストを用いて各不効用値を計算する

なおHighway Reporterでは、さらに2つの配分交通量の比較や経路情報（図-7）の表示を行うことができる。

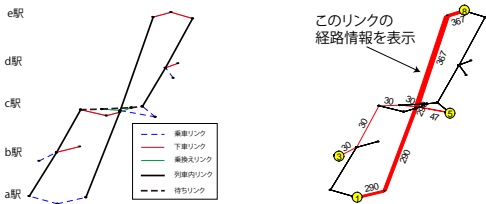


図-6 ネットワーク例

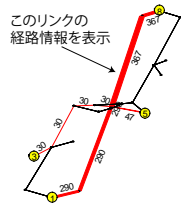


図-7 経路情報例

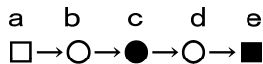
5. モデル路線の設定

停車駅ごとの総不効用の変化の傾向を定性的に把握するため、駅数・列車数を単純化した以下のモデル路線を設定し、分析を行った。

(1) モデル路線の概要

モデル路線として、郊外駅から都心駅に向かって a、b、c、d、e の5 駅からなる以下のような路線を設定した。

郊外駅から都心駅方向に向かう方向を「上り」とし、今回は下りダイヤについては考えない。また、CAP = 200（人）、パターン長=6（分）とし、各駅停車の各駅間所要時間は3分で統一した。



ここで □始発駅 ■終着駅
●退避可能駅 ○その他途中駅

図-8 モデル路線

(2) 輸送システムの仮定

簡単のため、輸送システムの仮定を以下のように設定した。

- ① 車両運用、乗務員運用、着発線容量の制約、事故時の対応は考えない
- ② 列車ダイヤは、複数列車による一定時間幅のパターンダイヤが繰り返される
- ③ 全列車が全区間を通して運行し、区間運行列車は設けない
- ④ 退避は停車率のより小さい列車に対してのみ行われる
- ⑤ 各駅停車の急行列車退避時以外の停車時間は運転時間に含む
- ⑥ 急行列車は、そのまま進むと各駅停車に追いついてしまう場合、退避可能駅で必ず追い抜く（急行列車の余裕時間の調整は行わない）

(3) 輸送需要パターンの設定

モデル路線の各駅間の輸送需要分布は、3. (2)

の分類に従って最混雑区間の混雑率が同じ値になるように配分し、以下のⅠ～Ⅴの5パターンを設定した。

- Ⅰ. 都市間+フラットタイプ
- Ⅱ. 都市間+複心タイプ
- Ⅲ. フィーダー+フラットタイプ
- Ⅳ. フィーダー+複心タイプ
- Ⅴ. 全区間にわたりフラットタイプ

また、それぞれの輸送需要パターンの最混雑区間の平均乗車率は120%、150%、180%の3通りを想定した。最混雑区間の平均乗車率120%の場合について、図-9に1ダイヤパターンサイクル長あたりの人数各駅の乗車人員、各駅間の通過人員を示す。Ⅴ.を除いて最も都心側のd-e間が最も区間通過人員が多い。

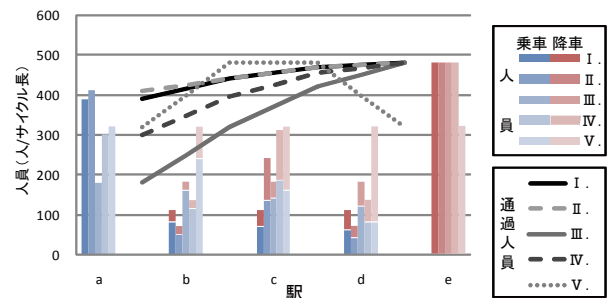


図-9 モデル路線の各区間乗車人員・降車人員・通過人員

(4) 分析する停車駅パターン

1サイクルのダイヤパターンは、各駅停車1本と停車駅を自由に設定できる列車（便宜的に優等列車と呼ぶ）1本で構成されているとする。優等列車の途中駅b、c、d駅の停車駅と、c駅での退避の有無を変更することで、以下のような12通りの停車駅パターンで検討を行った。

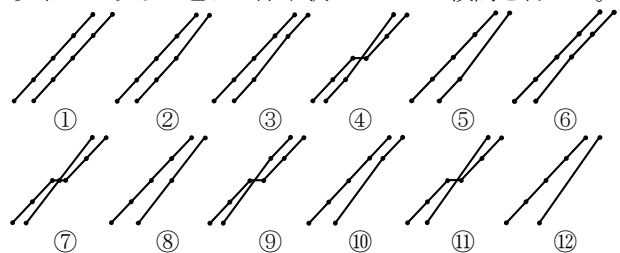


図-10 モデル路線のダイヤパターン

表-1 モデル路線の停車駅パターン

ダイヤパターン	※	ダイヤパターン	※
① 各駅停車	abcde	⑦ 緩急接続	ace
② 区間急行	abce	⑧ 急行	ace
③ c駅のみ通過	abde	⑨ 緩急分離	ade
④ 緩急分離	abe	⑩ 区間急行	ade
⑤ 区間急行	abe	⑪ 急行	ae
⑥ 区間急行	acde	⑫ 急行	ae

※ 急行列車の停車駅
c駅で列車の追抜き・追い越しあり

④、⑦、⑨、⑪のパターンでc駅での優等列車と各駅停車の接続・追抜きが発生する。

6. 分析結果

以上の設定のもとで分析を行って得られた各ケースの利用者の不効用評価結果を表-2に示す。

表-2 各ケースの評価結果

凡例	1行目：総不効用 2行目：乗車時間 3行目：混雑不効用 4行目：待ちコスト	急行列車の停車駅が abcdeのとき1.00とする
例	0.95：総不効用が1.00より小さいもの 2.00：不効用の相対値1.5より大きいもの	

輸送需要パターン	最混雑区間	途中駅間混雑率	停車駅パターン																					
			①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫										
都市間タイプ	I フラットタイプ	120%	1.00	0.88	0.87	0.84	0.83	0.82	0.81	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71	0.70	0.69	0.68	0.67	
		150%	1.00	0.94	0.95	0.86	0.86	0.85	0.87	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88
		180%	1.00	1.00	1.01	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48
		1.00	1.10	1.12	1.60	1.22	1.13	1.77	1.23	1.93	1.15	2.32	1.26											
		1.00	0.88	0.87	1.00	0.88	0.87	1.01	0.88	0.87	1.01	0.88	0.87	1.01	0.88	0.87	1.01	0.88	0.87	1.01	0.88	0.87	1.01	0.88
		1.00	0.94	0.95	0.86	0.86	0.85	0.87	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88
	II 複心タイプ	120%	1.00	0.94	0.94	0.88	0.86	0.84	0.83	0.82	0.81	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71	0.70	0.69	0.68
		150%	1.00	1.09	1.04	1.23	1.58	1.14	1.25	1.26	1.11	1.11	0.98	0.98	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84
		180%	1.00	1.06	1.21	1.41	1.15	1.08	1.37	1.14	1.61	1.20	1.77	1.26										
		1.00	0.87	0.87	0.85	0.88	0.85	0.84	0.88	0.88	0.89	0.89	0.84	0.84	0.82	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
		1.00	0.94	0.95	0.88	0.85	0.94	0.88	0.88	0.89	0.89	0.89	0.84	0.84	0.82	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
		1.00	1.05	1.00	1.37	1.37	1.09	1.26	1.11	1.21	1.11	1.11	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
	III フラットタイプ	120%	1.00	0.87	0.87	0.85	0.88	0.88	0.88	1.02	0.88	1.07	0.88	1.11	0.88									
		150%	1.00	0.92	0.93	0.89	0.89	0.89	0.88	1.01	0.88	0.91	0.93	0.91	0.91	1.13	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
		180%	1.00	1.30	1.15	0.96	0.96	1.01	1.44	0.94	1.06	1.06	1.06	1.39	1.39									
		1.00	1.20	1.23	1.82	1.43	1.27	2.34	1.63	2.86	1.17	3.25	1.37											
		1.00	0.87	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	1.02	0.88	1.07	0.88	1.13	1.01										
		1.00	0.93	0.93	0.88	0.88	0.88	0.88	1.02	0.88	1.06	0.88	0.93	0.91	1.13	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
	IV 複心タイプ	120%	1.00	0.87	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	1.01	0.88	1.08	0.87	1.20	1.08									
		150%	1.00	0.93	0.94	0.89	0.89	0.89	0.90	0.91	0.93	0.93	0.91	0.91	1.13	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
		180%	1.00	1.05	1.10	0.98	0.98	1.01	1.06	0.95	1.12	1.12	0.92	0.92	1.17	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
		1.00	1.20	1.23	1.82	1.43	1.27	2.34	1.63	2.86	1.17	3.25	1.37											
		1.00	0.87	0.87	0.85	0.88	0.85	0.84	0.88	0.88	0.89	0.89	0.84	0.84	0.82	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
		1.00	0.93	0.94	0.90	0.90	0.94	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88
V フラットタイプ	120%	1.00	1.13	1.19	0.96	0.96	1.01	1.22	0.94	1.08	1.08	1.56	1.56											
	150%	1.00	1.34	1.52	2.18	1.29	1.40	2.18	1.54	2.65	1.52	3.00	1.65											
	180%	1.00	0.87	0.87	1.07	0.88	0.88	1.04	0.88	1.08	0.87	1.22	1.08											
	1.00	0.95	0.93	0.93	0.93	0.93	0.90	0.93	0.93	0.93	0.93	0.95	0.95											
	1.00	1.01	1.05	1.27	1.65	1.39	1.17	1.82	1.28	2.21	1.28	2.50	1.38											
	1.00	0.87	0.87	1.08	0.88	0.88	0.88	1.04	1.00	1.09	1.01	1.29	1.16											

ここでは、各停車駅パターン間の総不効用の相対的な優劣を示すために、それぞれの路線需要パターン、停車駅パターンについて、①を基準とした値を示した。また、乗車時間、混雑不効用、待ちコストについても①の場合との相対的な関係が分かるよう、総不効用の下に同様に併記した。なお、乗換えコストは微小なためここでは表記していない。

(1) 全体の傾向

全ての場合で、いずれかの駅を通過する列車を設定する方が総不効用は小さくなる事が示された。混雑不効用は、各列車間・各駅間の混雑のばらつきが大きくなればなるほど、乗車時間が長くなればなるほど大きくなる。待ちコストは、乗車人数の大きい駅の通過数が大きくなればなるほど大きくなる。また基本的に、乗車コストと待ちコストはトレードオフの関係になる。退避の有無に着目すると、退避が起らない方が総

不効用は小さくなる。これは退避が起こると優等列車に乗客が集中し混雑不効用が上がった事、各停列車の通過待ちによる待ちコストの増加が優等列車の所要時間の減少よりも大きくなった事が原因と考えられる。

(2) 需要パターンごとの特性

I. 都市間+フラットタイプ

a-e間をより速く結ぶ列車を設定することに大きな効果が出ている。また混雑率が120%のときは、急行列車がいずれかの駅を通過するほうが総不効用は小さくなるが、混雑率が上がると④⑦⑨の場合は①よりも総不効用が大きくなる。これは急行列車に乗客が集中し、混雑不効用が大きくなるためと考えられる。また、全体的に退避がない場合の方が総不効用は小さい。

II. 都市間+複心タイプ

全ての場合で通過列車を設定する方が、総不効用が小さくなっている。特に⑫の総不効用の小ささが顕著である。これは混雑のばらつきが抑えられたこと、退避による待ち時間がないことの2点が大きく寄与している。また全体的に待ちコストの値も低く、通過列車を設定することが輸送需要に合っていることがわかる。

III. フィーダー+フラットタイプ

退避がある場合、始発側の駅よりも都心側の駅を通過する方が総不効用は小さくなる傾向にある。これは混雑しない始発側に優等列車を設定しても利用者が少なく時間短縮効果が少ないこと、混雑する都心側に通過列車を設定すると、各列車間の利用者の配分が効率的に行われていることが影響している。また、退避がない場合はほとんどの場合で通過列車を設定する方が総不効用は少ない。

IV. フィーダー+複心タイプ

III. の傾向に加えて、⑦⑫も総不効用が小さくなっている。これはIII. の場合に比べて途中駅の乗客の比率が低く、待ちコストが相対的に低くなったことが主な原因と考えられる。

V. 全区間にわたりフラットタイプ

通過人員が最も多くなる区間がb-d駅間であるため、その区間に通過列車を設ける③のパターンが最も総不効用が小さくなった。また、a-e駅間の需要が他に比べて少ないため、急行列車がa-e駅間を途中停車駅なしで直行する場合退避の有無にかかわらず、それぞれの列車に効率的に旅客が配分されないため、混雑不効用の値も待ちコストの値も大きくなる。

7. 実路線での適用例

ここでは、今回の評価方法を用い実際の路線での停車駅パターンの改善を試みる。線区として、フィーダー

+複心タイプに近いT線を選定した。以下に路線の概要を示す。

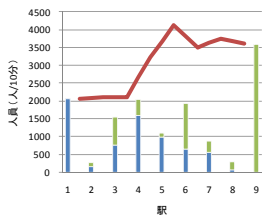


図-1.1 T線の各区間
乗車人員・降車人員・通過人員

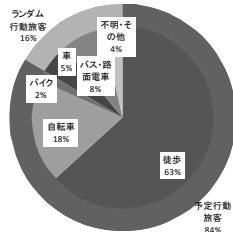


図-1.2 T線各駅
へのアクセス状況¹⁰⁾

T線の最混雑区間の混雑率は135%であるから、今回の分析の⑤のダイヤパターンが最も総不効用が小さい。したがって、⑤のダイヤパターンに近い2つの仮想ダイヤを作成し、検討を行った。

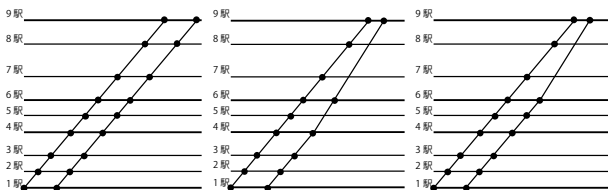


図-1.3 検討を行った停車駅パターン
(左：現行 中央：区間快速1 右：区間快速2)

不効用の内訳は、以下の表-4のようになった。

表-4 仮想ダイヤの評価

停車駅	各駅停車	区間快速1	区間快速2
総不効用	1.000	0.997	0.979
乗車時間	1.000	0.894	0.930
混雑不効用	1.000	1.138	1.051
待ちコスト	1.000	1.229	1.088

現行のダイヤでは全ての列車が各駅停車であるが、区間快速を導入する方が総不効用は小さくなった。これは、T線の都心側の駅の乗車人数が少なく待ちコストが抑えられたことと、乗車時間の短縮効果が大きい。

ここであげた適用例は一例であるが、無数にある停車駅パターンの中から総不効用の小さいものを絞り込む過程では、本研究の類型化は効果的であると考えられる。

8. まとめと今後の課題

本研究では、輸送需要特性ごとに最も効用の高い停車駅パターンの特性を類型化し、それが実際の路線でも有効であることを示した。また、列車間の接続・追抜きを行わなくても総不効用が少なくなる場合があること、退避設備のない路線でも工夫次第で総不効用を少なくできる可能性があることが示された。

今後の課題としてはより細かい制約条件の下で、最適な停車駅の選択を行う手法の検討があげられる。また、本研究の結果より、混雑する列車の容量を列車増発や車両の増結など何らかの方法で増やすことで、列車間の混雑のばらつきが抑えられることも予想されることから、最適な列車種別比の構成比の検討も有効であろう。

実際に停車駅の選択を検討する場合、本研究で単純化した輸送システムの仮定を路線ごとに詳細に検討する必要がある。また、駅ごとの待ち時間の公平性など事業者の企業戦略と繋がる部分についての検討も必要となると考えられる。したがって、今後はそれぞれの不効用と事業者の便益の関係を明らかにすることが課題となる。

9. 謝辞

本研究ではJICA STRADAで利用者均衡配分を行うにあたって、株式会社インテルテック研究所石谷昌之様、吉田禎雄様のご協力をいただきDavidson関数のパラメータ修正を行った。また、東京大学の家田仁教授からは非常に有用なコメントをいただいた。ここに記して謝意を表したい。

<注釈>

- 注1) 本研究では急行列車、準急列車など通過区間のある列車の総称を優等列車とする。
- 注2) 各社IPより筆者が作成
- 注3) 優等列車が各駅停車を2本追い越すことで改正前より最大4分の所要時間短縮が行われた。
- 注4) 上り急行列車の一部を二子玉川以東で各駅に停車させる準急列車に変更している。

<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, No. 6, pp. 177-184, 1988.
- 2) 家田仁, 志田州弘, 永井邦彦, 下大藪浩: 列車運行計画評価システム"IEDIS"の開発, JREA, Vol. 34, No. 10, pp. 16-19, 1991.
- 3) 森田泰智, 窪田崇斗, 山崎翔平, 松尾敦, 山崎公之, 太田雅文, 家田仁: 都市鉄道の混雑問題と利用者ニーズの傾向に関する分析—第2フェーズの混雑問題への対応に向けて—, 運輸と経済, 第69巻, 第8号, pp. 69-84, 2009.
- 4) 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. 11, pp. 243-250, 1988.
- 5) 永井邦彦, 家田仁: 利用者便益からみた都市間鉄道の停車パターン改善法, 土木計画学研究・講演集, No. 13, pp. 501-508, 1990.
- 6) 城石典明, 梶岡俊彦, 家田仁, 島村祐司, 永井邦彦: 列車運行評価システムによる通勤線区列車ダイヤ改善の事例研究, 土木学会論文集, No. 530, pp. 109-115, 1996.
- 7) (財) 運輸政策研究機構: 数字でみる鉄道, 2008.
- 8) H12年度大都市交通センサス
- 9) 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・論文集, No. 12, pp. 519-525, 1989.
- 10) H17年度大都市交通センサス
- 1) 松井寛: 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, 1998.
- 2) 太田勝敏: 道路交通需要予測の理論と適用 第I編, 土木学会, 2003.
- 3) 太田勝敏: 道路交通需要予測の理論と適用 第II編, 土木学会, 2006.