

都市鉄道の時刻別需要予測のためのリンクコスト関数の開発—小田急小田原線を対象に—\*

Development of peak-hour train speed model for dynamic commuter travel forecasting\*

岩倉成志\*\*・渡辺将一郎\*\*\*・土居厚司\*\*\*\*

By Seiji IWAKURA, Shoichi WATANABE and Atsushi DOI

1. はじめに

東京圏の都市鉄道のピーク時間帯における混雑状況は極めて厳しい状況にある。従来の混雑緩和施策は、供給側の対策である輸送力増強によって対処していたが、近年、鉄道事業者の投資意欲の減退や公的財源の制約のために、従来型の施策の実施が困難な時代を迎えている。

このため、ピーク時に集中する利用者数を平準化させる政策オプションの検討が必要となっている。しかし、政策を検討する際の基幹となる需要予測分析は、終日の需要を精緻に予測することを主眼とした予測手法を用いており、ピーク時間帯の混雑率の予測は、終日の輸送人員にピーク率を乗じて算出する方法が採られている。この方法では、ピーク時における時刻別の需要変動を予測することができず、ピーク需要の平準化策を定量的に評価することができなかった。

時刻別に需要を予測するシステムには、需要側では出発時刻選択モデルが、供給側では時分単位のリンクコスト関数が必要となる。出発時刻選択モデルについては、自動車利用者を対象としたものがほとんどであるが、近年数多くの研究成果が残されており、都市鉄道利用者のモデル化に参考とできるものも多い。一方、都市鉄道を対象としたリンクコスト関数については、既往の研究成果は皆無といって良い。

都市鉄道を対象とした実務ベースの一般的な需要予測では、交通需要の増減が、列車の走行速度に強く影響しないと仮定し、**flow-independent**に取り扱ってきた経緯がある。一方、研究ベースでは家田ら（1988）や屋井ら（1993）が混雑率を媒介とした、**flow-dependent**な利用者均衡配分を行っているが、交通需要と列車速度との因果関係には言及していない。実際には表-1に示すように、東京圏の大手私鉄でピーク時の列車速度の顕著な低下がみられる。このような現象が引き起こされる理由を、列車内の混雑率を低下させるために線路容量一杯まで運行頻度を引き上げた結果と考えれば、道路の配分交

表-1 東京圏における都市鉄道の表定速度差 (km/h)

| 路線名         | 区間       | ワビーク | ピーク | 差  |
|-------------|----------|------|-----|----|
| 京王京王線（快速）   | 調布⇒新宿    | 42   | 31  | 11 |
| 東急東横線（急行）   | 桜木町⇒渋谷   | 44   | 35  | 9  |
| 西武池袋線（急行）   | 所沢⇒池袋    | 60   | 40  | 19 |
| 小田急小田原線（急行） | 新百合ヶ丘⇒新宿 | 46   | 33  | 13 |
| 営団東西線（快速）   | 西船橋⇒中野   | 43   | 36  | 7  |
| JR 京浜東北線    | 大船⇒横浜    | 46   | 43  | 3  |
| JR 総武線快速    | 千葉⇒東京    | 60   | 55  | 6  |
| JR 中央線快速    | 高尾⇒新宿    | 44   | 42  | 2  |

\* 東京時刻表（弘済出版社）1999年10月より作成

\* ワビークは発駅を12:00-13:00に出発する列車の平均速度、ピークは同様に7:30-8:30の列車の平均速度である。

\* 表定速度は四捨五入している。よって差が整合しない場合がある。

通で利用されるリンクコスト関数に関する既往の数多くの知見を援用できる。特に道路のリンクコスト関数として実務的にも利用が進められているBPR関数は、交通量に関する制約条件の弱さや理論的根拠といった意味で課題は有するものの、極めて簡便な式形であり、実務ベースの需要予測システムとの親和性は極めて高いと考える。

需要予測への適用を直接指向していないものの、列車の速度変動をモデル化した例として、次のような既往研究がある。山崎ら（1970）が山手線の自動運転評価シミュレーションシステムを開発し、乗降客数から実停車時間を算出できるようにしているが、定式化の方法は明らかでない。岩倉ら（1996）は、列車の追従走行による走行速度の低下と列車の運行間隔による乗降客数の変動が停車時間に与える影響とを動学的なモデルで表現している。しかし、初期に発生する予測誤差が伝播し、その誤差が拡大するため精度上の課題を有する。Higginsら（1998）は、列車の運行スケジュールの信頼性評価を行うために、列車の遅延現象を確率的に扱うモデルを構築している。これらの研究成果は、都市鉄道のリンクコスト関数を検討する上で、有益な知見を与えるものの時刻別需要予測への直接の適用はモデル構造的にも、精度的にも困難といわざるを得ない。

よって本研究では、道路交通の配分予測に用いられるBPR関数を応用した都市鉄道のリンクコスト関数の構築を目的とする。なお、先述したように都市鉄道のリンクコスト関数に関する研究成果が少ないことから、複数

\*Key Words：配分交通、鉄道計画、公共交通需要

\*\* 正 員 工博 芝浦工業大学工学部土木工学科

(東京都港区芝浦3-9-14, TEL5476-3049, FAX5476-3166)

\*\*\* 学生員 芝浦工業大学工学部土木工学科

\*\*\*\* 正 員 (株) ライテック社会調査・計画室

の定式化を行い、パラメータ推定の安定性、再現性、パラメータ感度に関する考察を行い、今後の議論の一助としたい。

2. リンクコスト関数の定式化

(1) 基本的な考え方

列車の速度を規定する要因は様々であるが、概ね表-2のように分類できると考える。これらを集約して2種に大別すると、以下のように整理できる。一つは車両性能、構造物、線路容量、線形で施設設計に依存する項目であり、列車運行の最短所要時間が規定される。もう一つは運行計画および輸送人員は需要量に依存する項目で、これを勘案して運行ダイヤを策定することとなる。

これを BPR 関数のコンセプトに基づいて考えれば、前者の部分がゼロフロー時の走行時間となる。列車の駅間最短走行時分は、運行計画時に用いられる運転曲線図(ランカーブ)を用いて設定することができるため、既存線は当然のことながら、新線においても駅間の最短走行時分を設定することが可能になる。後者の部分は、道路容量に対する交通量の増加関数の考え方を応用して表現できると考える。鉄道の線路容量は、路線によって閉そく割や信号制御方式が異なったり、同一線でも複線区間と複々線区間が混在したりするが、この点についても BPR 関数に準拠することで線路容量を明示的に扱うことができる。鉄道の場合は駅間走行時分に駅での停車中の乗降時分を加えることが必要となる。ここが単純な BPR 関数と異なる点であり、需要量によって異なる乗降時分を推定する必要がある。

(2) 基本となる関数の定式化

上記の考え方に従い、リンクコスト関数を定式化すれば基本式は以下ようになる。

$$t_a = t_l + t_s \tag{1}$$

$$t_l = t_{l0} \left\{ 1 + \alpha \left( \frac{x_l}{c_l} \right)^\beta \right\} \tag{2}$$

$$t_s = \gamma x_{on} + \eta x_{off} + \omega \tag{3}$$

ここで、 $t_a$ は駅間所要時分、 $t_l$ は駅間走行時分、 $t_s$ は着側の停車時分である。 $t_s$ を着側の停車時分とした理由は、リンクコスト関数の推定のために簡易に入手できるデータは、発時刻のみが記載されている時刻表と想定されるためである。このため  $t_s$ を着側の停車時分とし、 $t_l$ と  $t_s$ を合算した  $t_a$ を推定する形式を採っている。しかし、運転用ダイヤが得られている場合や停車時分が実測されている場合は、 $t_l$ と  $t_s$ とを分離して推定することが可能であるし、 $t_s$ を着側と定義する必要はない。

式(2)の  $t_{l0}$ は駅間の最小走行時分であり、先述した

表-2 列車速度の規定要因

|      |                             |
|------|-----------------------------|
| 車両性能 | 走行安定性、台車性能、加速性能、ブレーキ性能、乗り心地 |
| 構造物  | 軌道材料強度、分岐器強度・機能、土木構造物の強度    |
| 線路容量 | 線路数、駅間距離、閉そく区間、信号制御方法、終端駅容量 |
| 線形   | 勾配、曲率、軌間                    |
| 運行計画 | 運行本数、余裕時分設定、緩急行比率           |
| 輸送人員 | 乗車人数、降車人数、列車内混雑率            |
| その他  | 前列車の遅延                      |

ように運転曲線図から得ることができる。運転曲線図の入手が困難な場合には、既存線であれば終日の最短の駅間所要時分を用いてやれば良い。工事区間等がなければ、両者には大きな違いがないといわれている。

$x_l$ は当該列車の一定時間の前走列車の運行本数、 $c_l$ は一定時間内の線路容量であり、限界運行本数とする。 $c_l$ は表-2の線路容量の規定要因によって変動することとなる。 $\alpha, \beta$ はパラメータである。

式(3)の  $x_{on}$ は1ドア当りの乗車人数で、 $\gamma$ は一人当りの乗車時分となるパラメータで、両者を乗じることにより乗車時分の合計となる。同様に、 $x_{off}$ は1ドア当りの降車人数、 $\eta$ は一人当りの降車時分のパラメータである。 $\omega$ は乗降時分以外の駅停車時分で運転余裕時分設定などに関わる項である。

(3) いくつかの関数形の提案

鉄道のリンクコスト関数の推奨される構造については、未だ知見がないことから、複数の関数形を検討する。

駅間走行時分  $t_l$ については式(2)に加えて、当該列車の速度に影響を与える前方列車の影響を重み付き平均で表わす式(4)を考えた。

$$t_l = t_{l0} \left\{ 1 + \alpha \left( \frac{o_a}{s_z} \right)^\beta \right\} \tag{4a}$$

$$o_a = \sum_i (f(z_i) \times HW_i) / \sum_i f(z_i) \tag{4b}$$

$$f(z_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-z_i^2/2\sigma^2} \tag{4c}$$

ここで、 $o_a$ は一定時間内の前方列車群の運行間隔  $HW_i$ を当該列車からの距離  $z_i$ (当該列車と前方列車との駅発時刻の差分)によって正規確率密度関数に則った重みつきで平均化したものである。つまり、当該列車のより直前に発車する列車が、当該列車の速度に影響を与えるという仮説をおいた。 $s_z$ は線路容量に対応した一定時間内の運行間隔の限界値となる。時間 30 本を線路容量とすれば、 $s_z$ は2分となる。 $\alpha, \beta, \sigma$ はパラメータである。

駅停車時分  $t_s$ は式(3)に加えて式(5)を考えた。

$$t_s = \gamma x_{on} + \eta x_{off} + \zeta(\gamma x_{on} + \eta x_{off})^\rho \quad (5)$$

通常、列車は乗降時分以外で駅内で一定の調整時分を有しており、式(3)はそれを定数と仮定したが、上式は乗降量に応じてその調整時分が変化すると考えた。このため第3項は乗降量が少なければ長く、乗降量が少なければ短くなるようにパラメータ $\zeta, \rho$ は推定されるべきである。

さらに、一人当りの乗車時分 $\gamma$ と降車時分 $\eta$ は、列車内の混雑状況によって変動することを考慮すれば次式のような可変パラメータとすることも考えられる。

$$\gamma = \frac{\mu_1}{1 + e^{CG_i + \xi}} \quad (6a)$$

$$\eta = \frac{\mu_2}{1 + e^{CG_i + \xi}} \quad (6b)$$

以上が本研究で提案するリンクコスト関数である。4章では、ここで提案した $t_l$ と $t_s$ の式形を組み合わせる小田急小田原線を対象にパラメータ推定を試みる。

### 3. データ概要

本研究では、ピーク、オフピークの所要時間差が比較的大きい小田急小田原線を対象にリンクコスト関数の構築を試みた。データ作成の対象区間は新百合丘駅から新宿までの21.5km、対象列車は上りの急行・準急列車である。3章で示したリンクコスト関数に対応するデータ名とそのデータ取得方法を表-3に示す。データはビデオ観測調査、カウント調査および大都市交通センサスによって作成した。

ビデオ観測調査は、被説明変数となる駅間走行時分 $t_l$ と駅停車時分 $t_s$ の正確な運行データを取得するために行った。ビデオ設置駅は、急行停車駅である新百合丘駅、向ヶ丘遊園駅、登戸駅、成城学園前駅、下北沢駅、代々木上原駅の6駅である。新宿駅では到着時刻を計時した。調査時間はAM6:35～AM10:35で、この間の上り方向の急行・準急51本の列車のビデオ画像データを得た。このデータをもとに独自に急行・準急のダイヤグラムを作成し、 $t_l$ 、 $t_s$ 、 $t_{l0}$ を作成した。 $t_s$ は列車の到着後のドアの開閉時間とした。 $t_l$ は図-1の破線に示すように同一時間帯において微小な変動が存在する。このような微小変動までを表現することは需要予測上不必要であるし、また安定的なパラメータ推定結果が得られないと考えたため、当該列車の前後7分30秒間の $t_l$ 、 $t_s$ の移動平均をとった。各駅間における $t_l$ 、 $t_s$ の移動平均後の実測値を図-2に示す。ピーク時間帯において駅間走行時分が増大していることがわかる。なお、駅間距離が極端に短い場合や複々線化区間では列車速度への影響が小さいことがわかる。また、駅間所要時分 $t_a$ に占める $t_l$ と $t_s$ の割合をみ

表-3 リンクコスト関数の変数とデータ収集方法

| リンクコスト関数の変数名 |                  | 収集法と日時                             |
|--------------|------------------|------------------------------------|
| $t_l$        | 駅間所要時分(秒)        | ビデオ観測<br>1999/11/08                |
| $t_s$        | 駅停車時分(秒)         |                                    |
| $t_{l0}$     | 駅間所要時分の最小値(秒)    |                                    |
| $x_a$        | 当該列車15分前の運行頻度(本) |                                    |
| $o_a$        | 重み付き前列車群運行間隔(秒)  | カウント調査<br>2000/01/14<br>2000/02/04 |
| $\gamma$     | 1人当りの乗車時分(秒)     |                                    |
| $\eta$       | 1人当りの降車時分(秒)     |                                    |
| $\kappa$     | 最小停車時分(秒)        | 平成7年大都市<br>交通センサス調査<br>(運輸省)       |
| $x_{on}$     | 1ドア当りの乗車人数(人)    |                                    |
| $x_{off}$    | 1ドア当りの降車人数(人)    |                                    |
| CG           | 駅間混雑率            |                                    |

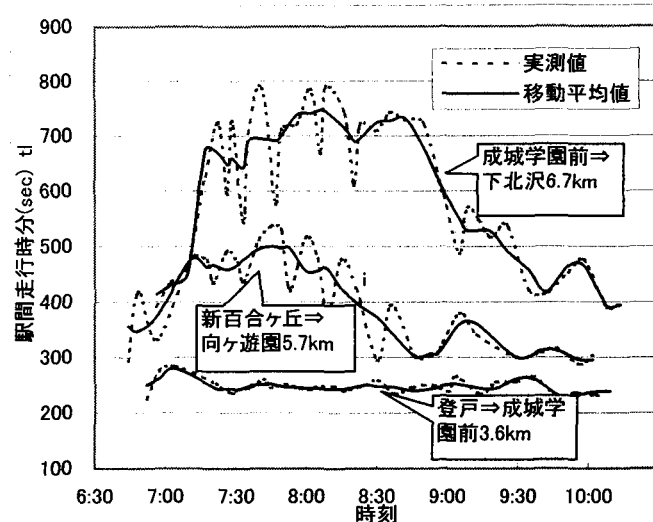


図-1 駅間走行時分 $t_l$ の実測値と移動平均値

ると、 $t_l$ が支配的であることがわかる。

$t_{l0}$ は終日の運行データから最小の駅間走行時分を用いるか、ランカーブより得られた駅間走行時分を用いることが望ましいが、本稿では便宜的にビデオ調査時間内に得られた駅間走行時分の最小値を用いた。ピーク時の駅間所要時分の推定モデルを作成する本稿の目的に照らせば、この便宜的な設定がもたらすバイアスは極めて小さいと考える。 $x_a$ 、 $o_a$ は小田急電鉄の列車運行図表による各停列車のダイヤグラムに実測した急行、準急列車を書き加えて作成した。

次に1人当りの乗降時分となる $\gamma, \eta$ は直接パラメータ推定を行う方法もあるが、実測によって得る方法もある。本研究では登戸駅においてカウント調査を行い、乗車時分、降車時分、その他の停車時分及び特定位置の1ドア当り乗降人数を観測した。なお、駅構造によって各車両の乗降量は異なるが、観測した車両位置、ドア位置は後述する大都市交通センサスの利用を考え、平均的な乗降量の車両を選んで観測した。図-3に列車ごとの総停車時分と乗降時分、乗降以外の停車時分を示す。乗降時分が総停車時分に対して極めて強い正の相関をもつ一方で、乗降以外の停車時分は比較的分散し、かつ負の相関とな

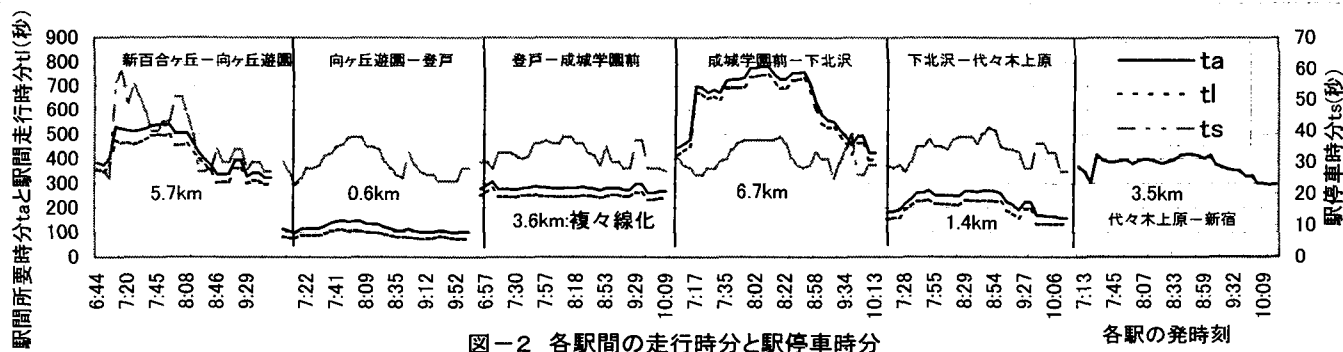


図-2 各駅間の走行時分と駅停車時分

っていることがわかる。この理由は、乗降客が少ない場合は駅でダイヤに合せた時間調整を行い、乗降客が多い場合はその調整時間を失うためである。このデータを用いて一人当りの乗降時分を算出すると、 $\gamma$  は平均 0.992 秒/人、標準偏差 0.305 秒/人となり、 $\eta$  は平均 0.728 秒/人、標準偏差 0.206 秒/人となった。

次に平成 7 年大都市交通センサスデータを用いて、時間帯別 (15 分ピッチ) の駅別上り方向乗降者数および駅間輸送人員を算出し、これを 15 分間の運行本数と編成車両数および 1 両当りのドア数を用いて  $x_{on}$ 、 $x_{off}$  および駅間混雑率  $CG$  を算出した。

15 分ピッチの駅別方向別乗降者数および駅間輸送人員は、平成 7 年大都市交通センサスの鉄道定期券調査と鉄道普通券調査のマスターデータをもとに、以下の手順で集計した。①時刻表等より作成した路線別駅間平均所要時分と駅別乗換時分を用いて、マスターデータの鉄道利用経路の途中駅通過時刻を、初乗り時刻と最終降車時刻から補間推計することにより求める。ただし、鉄道普通券調査マスターデータからは、切符ベースの乗車駅と降車駅の情報しか得られないため、乗車駅と降車駅で路線が異なる場合は、乗換経路を指定する必要がある。②①で求めた途中駅通過時刻付き鉄道経路人員データを用いて、駅間ペアごとの通過人員を 15 分ピッチで上下方向別に集計することにより、駅間輸送人員を求める。③駅別方向別乗降者数は、①で求めた途中駅通過時刻付き鉄道経路人員データを用いて、初乗り・最終降車駅および、乗換乗降駅ごとに、乗降者数を上下方向別に 15 分ピッチで集計することにより求める。

以上により 15 分ピッチの駅別方向別乗降者数および駅間輸送人員が算出されるが、次にこれを緩行急行別に分ける必要がある。上記の作業内で直接、緩行急行に分けることは可能であるが、サンプル調査ベースの大都市交通センサスを 15 分ピッチでかつ緩行急行に配分することは精度上無理があると考え、次のように設定した。①急行列車の停車駅での各駅停車の混雑率を 180% と仮定し、1 車両定員 142 名から各停列車 1 本 (8 両編成) の輸送人員とし、これに 15 分ピッチ内の各停列車の運行本数を乗じた値を算出する。②15 分ピッチの駅間輸送人員から①で算出した各停列車の駅間輸送人員を差し引き急行・準急列車の駅間輸送人員とし、これに 15 分ピ

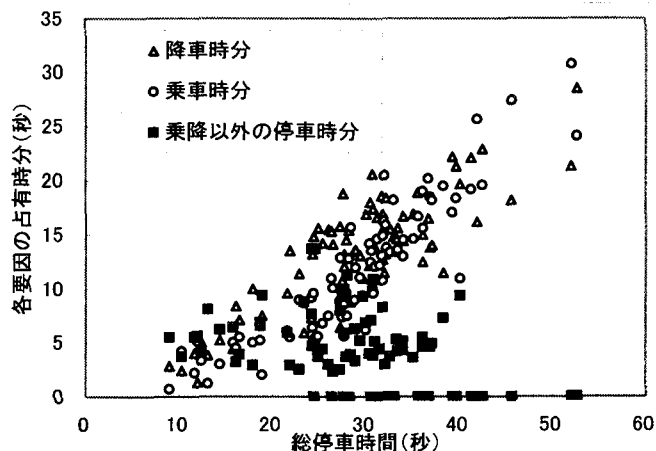


図-3 登戸駅における駅停車時分とその内訳

ッチ内の急行・準急列車の運行本数で除算して、急行・準急 1 本 (10 両編成) 当りの駅間輸送人員とする。③列車種別別駅別乗車人数は列車種別別駅間輸送人員の比率と同一として算出した。④降車人数は、各停列車が急行停車駅間の各停列車の停車駅で利用者が乗車することから、③の割合から各停列車は+5%、急行・準急列車は-5%とした。当然ながら上記は強い仮定に基づく設定であり、より良い配分設定方法を検討することが必要であるし、データの収集方法についての検討や大都市交通センサスを直接用いて算出される配分比率の妥当性についての検討を進める必要があると考える。また、平成 7 年のセンサスを用いており、時点修正を行っていないことも問題として挙げられるが、これを改良する有効なデータは現存しない。平成 12 年に実施される新データを用いてデータをアップデートすることが最良の方法と考える。

#### 4. パラメータ推定結果

リンクコスト関数の推定は、2 章で示した  $t_a$ 、 $t_s$  の各々 2 種類の式形を組み合わせて複数のモデルを構築する。モデル式の設定を表-3 に示す。本稿では、2 種類の式形の組み合わせで計 4 種類のモデルに、 $t_a$  を独立変数としてパラメータ推定を行う方法と  $t_l$  と  $t_s$  をそれぞれ独立変数とおき、個別にパラメータ推定を行う 2 つの方法を行い、計 8 種類のモデルを構築して、モデル精度とパラメータ感度の比較を行う。

パラメータ推定は GAUSS V.3.2.38 を用いて非線形回

帰分析を行った。サンプルは、実測した 51 の急行・準急列車から以下に該当する列車を除いた 34 列車を対象に 5 駅間で 159 サンプルを用いた。削除データは、①大きな遅延を起こした新百合ヶ丘駅 7:59 の列車とそれが影響した後続列車、②ロマンスカーの通過待ち列車、③代々木上原駅において千代田線との接続調整を行った列車、④ $t_s$  が存在しない代々木上原～新宿駅間の列車である。

パラメータの推定結果および重相関係数 R を表-4 に示す。各モデルの精度をみると、 $t_a$ 、 $t_l$  はいずれも相関係数は 0.95 以上であるが、 $t_s$  は  $t_a$ 、 $t_l$  に比べて極めて精度が低い。 $t_s$  が低精度にも関わらず、 $t_a$  の精度が劣化しない理由は、 $t_a$  に占める  $t_s$  の支配率が 5～20% と低いためである。 $t_l$  についてみると、式(2)を用いた方が精度は良い。A.2 タイプ、S.2 タイプともに式(4c)の分散パラメータ  $\sigma$  を 5.0 とした結果を示したが、 $\sigma$  の値を大きくした方が

精度は高くなる結果を得ており、当該列車に近い前方列車の遅延が強く影響するという仮定は支持されない結果となった。

各駅間で  $t_l$  の再現性をみたものが図-4 である。 $t_l$  はピーク時の列車速度の低下をおおむね表現できていると考

表-3 モデル式の設定

| モデルタイプ | 独立変数の設定              | $t_l$ の式形 | $t_s$ の式形 |
|--------|----------------------|-----------|-----------|
| A.1.1  | $t_a$ の推定            | 式(2)      | 式(3)      |
| A.1.2  | 同上                   | 式(2)      | 式(5)      |
| A.2.1  | 同上                   | 式(4a)     | 式(3)      |
| A.2.2  | 同上                   | 式(4a)     | 式(5)      |
| S.1.1  | $t_l$ と $t_s$ を個別に推定 | 式(2)      | 式(3)      |
| S.1.2  | 同上                   | 式(2)      | 式(5)      |
| S.2.1  | 同上                   | 式(4a)     | 式(3)      |
| S.2.2  | 同上                   | 式(4a)     | 式(5)      |

表-4 パラメータ推定結果

|       | パラメータ    | A.1.1 | A.1.2  | A.2.1  | A.2.2 | S.1.1 | S.1.2  | S.2.1 | S.2.2  |
|-------|----------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|
| $t_l$ | $\alpha$ | 1.12  | 1.12   | 0.802  | 0.808 | 1.06  | 1.06   | 0.725 | 0.725  |
|       | $\beta$  | 1.99  | 1.99   | -1.42  | -1.40 | 2.21  | 2.21   | -1.64 | -1.64  |
|       | $\sigma$ |       |        | 5.00   | 5.00  |       |        | 5.00  | 5.00   |
|       |          |       |        |        |       |       |        |       |        |
| $t_s$ | $\gamma$ | 0.992 | 0.992  | 0.992  | 0.992 | 0.992 | 0.992  | 0.992 | 0.992  |
|       | $\eta$   | 0.728 | 0.728  | 0.728  | 0.728 | 0.728 | 0.728  | 0.728 | 0.728  |
|       | $\omega$ | 3.52  |        | -0.738 |       | 19.4  |        | 19.4  |        |
|       | $\zeta$  |       | 8.05   |        | -67.2 |       | 69.9   |       | 69.9   |
|       | $\rho$   |       | -0.335 |        | -1.36 |       | -0.520 |       | -0.520 |
|       |          |       |        |        |       |       |        |       |        |
| R     | $t_a$    | 0.985 | 0.985  | 0.959  | 0.959 | 0.985 | 0.985  | 0.959 | 0.958  |
|       | $t_l$    | 0.986 | 0.986  | 0.961  | 0.961 | 0.985 | 0.985  | 0.960 | 0.960  |
|       | $t_s$    | 0.186 | 0.189  | 0.186  | 0.171 | 0.186 | 0.203  | 0.186 | 0.203  |

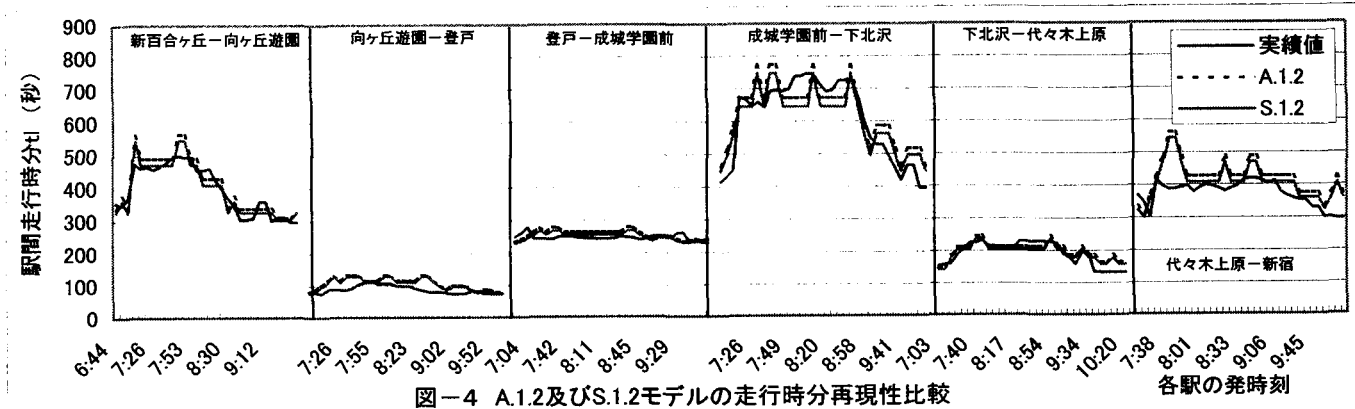


図-4 A.1.2及びS.1.2モデルの走行時分再現性比較

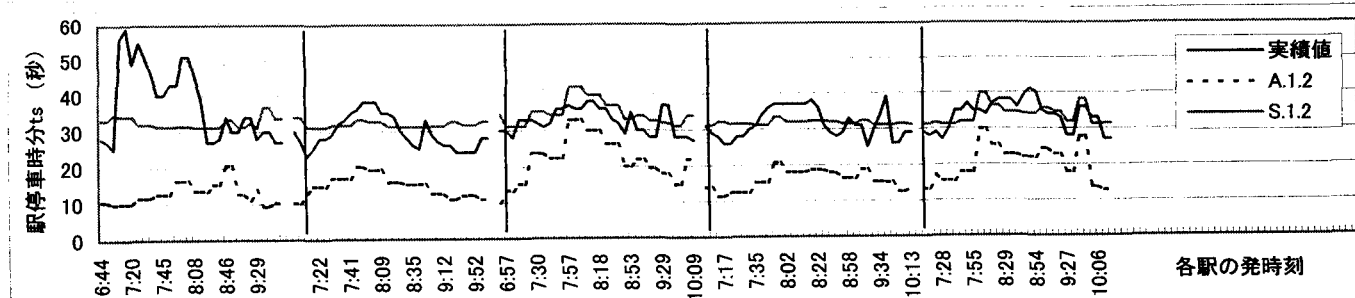


図-5 A.1.2及びS.1.2モデルの停車時分再現性比較

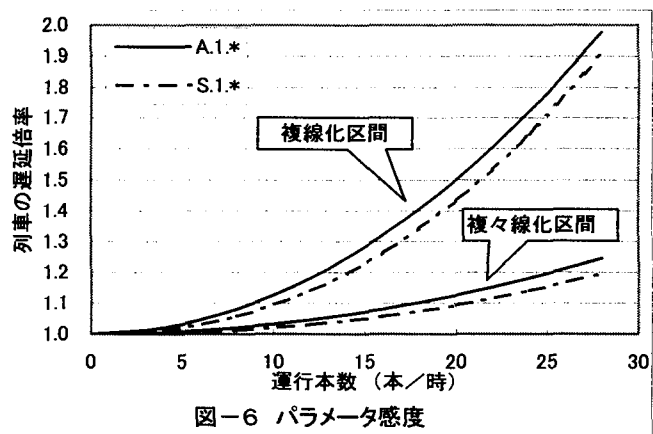
えられ、特に複々線化の影響が反映できている。ただし、新百合ヶ丘駅→向ヶ丘遊園駅や成城学園前駅→下北沢駅の一部の列車で1分程度の誤差の発生が認められる。図-5に $t_s$ の再現結果を示すが、ほとんど表現できていない。 $t_s$ に関わる全てのパラメータの標準誤差が大きく、有意な結果が得られなかった。特にA.1タイプは過小推計になっていることが図からわかる。 $t_s$ を独立変数としてパラメータ推定を行ったため、 $t_l$ を過大推定、 $t_s$ を過小推定するようなバイアスが生じる結果となった。A.1タイプとS.1タイプの $t_l$ に関するパラメータ感度を示したものが図6である。複線化区間での $t_{l0}$ に対する遅延倍率は、A.1タイプがS.1タイプに比べ約1~7%程度過大となっている。

以上より、現段階ではS.1タイプがリンクコスト関数として望ましいと考える。

5. まとめ

列車速度を表現するリンクコスト関数の構築を試み、一定の成果を得たと考える。きわめて簡便な式で線路容量の増加や交通需要の時刻変動がもたらす駅間所要時分の変化を推定することができる。

しかし、個別の駅間での適合性が十分でないことから、精度向上に向けて以下の課題があげられる。①駅停車時分 $t_s$ の予測精度が極めて低い。データ上の問題として、センサデータ調査時点と停車時分の調査時点とが整合していないことや、緩行急行別の乗降車人数が正確に把握できていない点が上げられる。また実際の運行では、 $t_s$ は駅間走行時分 $t_l$ の遅延に応じて調整が行われるが、本モデルではこれを考慮していない。②駅間走行時分 $t_l$ のさらなる予測精度にあたっては、当該列車の速度低下が前方列車群の遅延に影響されることを考えれば、系列相関を考慮したモデルの検討を行うことが必要と考える。また線路容量は、列車種別（急行、準急、緩行等の異なるサービスをもつ列車）が複雑に運行されることによっ



て低下するものと考えられるため、これを考慮した線路容量の設定方法の検討が必要となる。

謝辞

ビデオ調査にあたっては、小田急電鉄（株）運輸部の方々に多大なる協力を得た。ここに記して謝意を表する。

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) 屋井鉄雄、岩倉成志、伊東誠：鉄道ネットワークの需要と余剰の推定方法について, 土木計画学研究・論文集, No.11, pp.81-88, 1993
- 3) 山崎、安藤、関：列車運行シミュレーションと通勤電車の時隔制御、第7回鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム予稿集, pp.321-329, 1970
- 4) 岩倉成志、森地茂、伊東誠：都市鉄道輸送改善シミュレータの試案、土木計画学研究・講演集 No.19(2), pp.717-720, 1996
- 5) Higgins A. and E.Kozan: Modeling train delays in urban networks, Transportation Science Vol.32, No.4, pp.346-357, 1998

都市鉄道の時刻別需要予測のためのリンクコスト関数の開発—小田急小田原線を対象に—

岩倉成志・渡辺将一郎・土居厚司

本研究は、道路交通の配分予測に用いられる BPR 関数を応用した都市鉄道のリンクコスト関数の構築を目的とする。小田急小田原線乗り方向の急行・準急列車を対象に運行本数と駅乗降者数によって変動する各列車の表定速度を表現可能なモデルを作成した。この後、パラメータ推定の安定性、再現性、パラメータ感度等のモデル特性に関する考察を行った。

Development of peak-hour train speed model for dynamic commuter travel forecasting

By Seiji IWAKURA, Shoichi WATANABE and Atsushi DOI

This paper presents a link cost model to quantify the expected positive delay for individual commuter trains and track links in urban rail network. The model was verified an actual suburban rail network as supplied by Odakyu Odawara line in the morning period, result of which was used to reflect actual conditions.