高速道路における時間 BPR 関数の設定方法の検討

光岡　恭介[1]・藤田　素弘[2]・山田　真士[3]

[1] 学生会員　名古屋工業大学大学院　工学研究科（〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町）
E-mail: k.mitsuoka.536@stn.nitech.ac.jp
[2] 正会員　名古屋工業大学教授　工学研究科（〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町）
E-mail: fujita.motohiro@nitech.ac.jp
[3] 正会員　名古屋高速道路公社（〒462-0844 愛知県名古屋市北区清水 4 丁目）
E-mail: shinji.yamada@nagoya-expressway.or.jp

中京都市圏では高速道路の拡充が進んでおり，今後広域交通流の最適化のための戦略的な施策が想定されるなか，時間帯別交通配分手法の精度改善の重要性が高まっている．そこで本研究では，交通量配分で交通量―所要時間関数として主に利用される BPR 関数の精度改善を目的として，交通量ー所要時間関係の連続 1 時間値の特徴を利用しつつその設定方法を検討した．まず BPR 関数の設定のためのデータとして，単調増加関数の性質を持つデータを抽出するための基準を検討した．続いて，既存の BPR 関数を利用しつつパラメータの推定方法や，ETC によって集計された実測所要時間によるパラメータの調整方法を検討した．

Key Words: *traffic flow, freeways, BPR Function*

1. はじめに

中京都市圏では 2021 年 5 月から新しい高速道路料金が導入され，対距離制を基本とした料金体系となった．また，今後更なる交通流の最適化のための戦略的な料金体系の実現が想定され，時間帯別交通配分手法の精度改善の重要性が高まっている．そこで本研究では，交通量配分で交通量―所要時間関数として主に利用される都市高速道路の BPR 関数の精度改善を目的として，単調増加関数の性質を持つデータを抽出するための基準およびパラメータの推定方法を検討し，ETC データによって集計された実測所要時間によるパラメータの調整を行う．

2. 交通量と所要時間の連続 1 時間値の設定

使用するデータは名古屋高速道路が設置しているトラカンから取得されている 1 分単位で集計された，2019 年 11 月 25 日から 2020 年 3 月 31 日の計 128 日分の車線ごとの平均速度と交通量のデータである．交通量データは全車線の合計値とし，速度データは全車線 （交通量が 1 台以上の全ての車線） の 1 分間値とした．

それぞれのトラカン区間において，時間帯 0:00 から 23:59 における 1 分間データを用いて，式 (1) ，式 (2) のように時間交通量Q_kと所要時間の 1 時間平均値T_kを求める．連続 1 時間値による交通量-所要時間関係の図 (図-1) は，1 分間データによる交通量-所要時間関係の図より時間で変化する状況が読み取りやすいという特徴がある．

$$Q_k = \sum_{i=k}^{k+59} q_i \tag{1}$$

$$T_k = \frac{\sum_{i=k}^{k+59} t_i}{c} \tag{2}$$

q_i ： 時間帯 i における 1 分間交通量［台］
t_i ： 時間帯 i における 1 分間所要時間［分］
c ： 時間帯 k から k+59 において$t_i \neq 0$となる回数

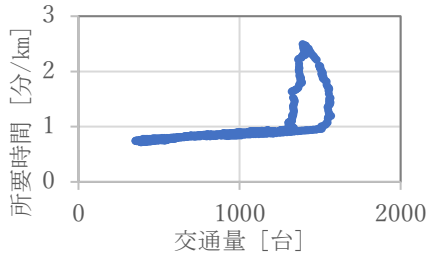


図-1　連続 1 時間値による交通量-所要時間関係の図

3. BPR 関数のためのデータ抽出の基準

連続 1 時間の特徴を利用しつつ，時間帯別利用者均衡配分で利用するリンクコスト関数である BPR 関数を設定する．BPR 関数は図-2 と式 (3) に示すような，単調増加関数であることが求められる．しかし，リンクコスト関数は一般に，非渋滞時には交通量が増加するにつれて所要時間が増加する単調増加関数を取るが，渋滞時には所要時間は増加するが交通量は減少する複雑な値をとることが多い．よって，分析データを渋滞時まで含めてリンクコスト関数を設定しようとすると，交通量に対して非渋滞時と渋滞時の値を複数もつデータで設定することになり，単調増加関数の性質を反映できない．

本研究で用いた，BPR 関数設定用の連続 1 時間値データの抽出基準としては，日々の連続 1 時間値の形状から単調増加部分のみのデータを抽出することとして，以下のように設定した．

すなわち、対象とする当該データに対して 2 分前のデータの位置を始点とし，当該データの位置を終点とする 2 点間で，始点での，水平右方向を 0 度で上側の角度を＋0 から＋180 度とし，下側の角度を－0 から－180 度とする．この時，－2 度以下のデータ，および＋90 度以上のデータが 5 分連続で続いたときは渋滞かつ，単調増加でない働きをしているとして，その時刻以降のデータは削除する．それ以外のデータを単調増加領域のデータとして抽出する．－2 度以下の角度とするのはいったん少し下がってもすぐに増加に転じるデータが少なからず存在するので，これらの細かい変動は許容することとする．

時間帯は 5 時 00 分から 9 時 59 分までの連続 1 時間値で，15 時 00 分から 20 時 59 分までの時間帯に交通量最大となる場合は，15 時 00 分から 20 時 59 分までの連続 1 時間値も含める．交通量が最大となるピーク時間帯はこれらの朝か夕にほとんど含まれる．

抽出例を図-3 に示す．交通量が減少しつつ所要時間が増加するデータは削除され，ほぼ垂直にデータが残っている．これは渋滞領域のデータを含みつつ BPR 関数の単調増加特性をもつデータのみを利用しているといえる．

4. 各トラカン区間での BPR 関数の設定

抽出したデータを実測値として用いて BPR 関数のパラメータを推定する．推定手法は BPR 関数による推定所要時間と実測値の所要時間の誤差平方和最小化（エクセルソルバー）によって，非線形の BPR 関数のパラメータを推定する．

本研究で対象としている名古屋高速道路で時間均衡配分 BPR 関数パラメータを設定した図を図-4 に示す．図では

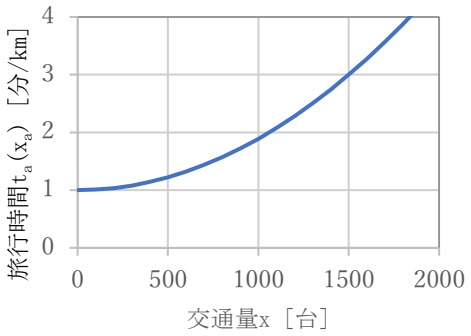


図-2 BPR 関数の概形

$$t_a(x_a) = t_{a0}\left\{1 + \alpha\left(\frac{x_a}{C_a}\right)^{\beta}\right\} \qquad (3)$$

t_{a0} ： リンク a の単位自由旅行時間［分/km］，
x_a ： リンク a の交通量［台］
C_a ： 交通容量［台］，α，β ： パラメータ

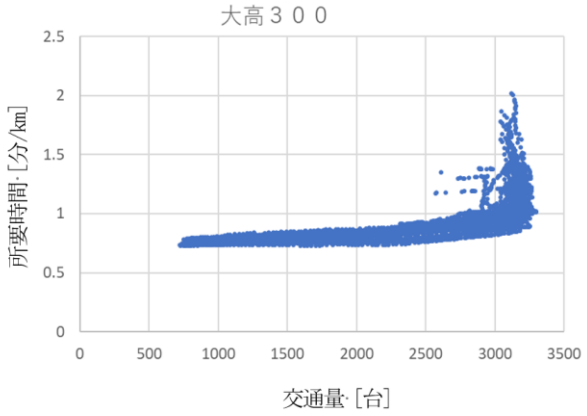


図-3 抽出例

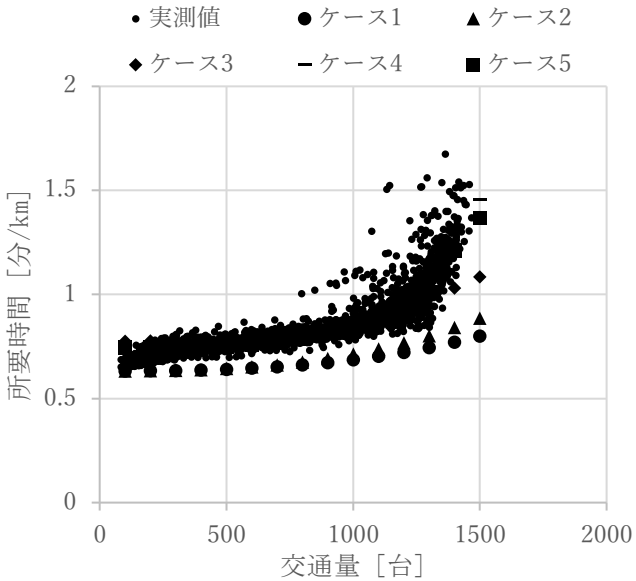


図-4 各ケースの BPR 関数

従来の BPR 関数のパラメータをできるだけ活用するために以下のケースを示している.

(1) パラメータ推定の 5 ケース

ケース１（元パラ）従来のパラメータによるもの.
ケース２（C’のみ）交通容量のみ実測値から集計した値 C’を用いる.
ケース３（C’t0‘）従来のα=0.48 と，β=2.52 とケース 2 の C’を用いて t0’を最小二乗法で推定する.
ケース４（α‘β’）ケース３の C’と t0’を利用固定して，α‘とβ’を推定する.
ケース５（α’β’t0‘）C’のみ固定して，他のα’，β‘，t0’を推定する.

(2) 交通容量 C’の集計方法

上記の交通容量 C’は以下の手順で集計した.

各路線の各区間で得られている 128 日間のデータから抽出された実測交通量の連続 1 時間値での最大交通量をトラカン区間 i で求めて交通容量 Ctr_i とする. さらに交通配分で利用する 1 つのリンクには，いくつかのトラカン区間が含まれる. よって配分リンク配分リンク h の交通容量 C_h は，これに含まれるトラカン区間の交通容量 Ctr_i の平均値を与えて端数を丸めて求めた.

(3) パラメータの推定結果

各ケースの誤差平方和を出力した結果，ほとんどのトラカンでケース３の t0’まで変数として変えることで精度が大きく改善した. よって本研究では交通容量は実測値の最大値から求めることとし，BPR 関数のパラメータは t0 のみを誤差最小化の計算から求めて，他のα，βのパラメータは従来のものをそのまま採用してもよいと考えた.

5. 各配分リンクでの交通容量とパラメータの集約・設定方法

上記で求めた各トラカンの交通容量とパラメータを配分リンクに集約，設定する. 方法としては，基本的に各トラカンで求められた容量と t0 を，各リンクで平均して，大きく異ならないか，または，距離が短く影響が少ないかなどを検討しつつ，路線ごとの交通容量と t0 を設定する. なお，交通量が少なく渋滞があまり発生していない路線については，交通容量が極端に小さい値となる場合がある. そのような路線については，連続 1 時間値の図の概形や他の路線の交通容量を考慮し，同等な路線と同一とした. 設定した各路線の t0 と交通容量を表-1 に示す. 表 1 から，オンオフランプの多い区間やカーブがある区間はその影響で t0 が大きく，交通容量が抑えられる傾向にあると考えられる. また各路線の上りと下りの t0 の差から，南から北，西から東へ向かう路線で渋滞の影響が大きく，t0 も大きくなっていると考えられる.

表-1 各路線の t0 と交通容量（一部区間）

	t0 [分/km]	交通容量 C [台/時]
環状線	0.735	1350
大高上り	0.723	1500
大高下り	0.694	1600
東海上り	0.731	1500
東海下り	0.694	1500
東山上り	0.672	1500
東山下り	0.691	1500
万場上り	0.713	1500
万場下り	0.689	1500
小牧上り	0.685	1500
小牧下り	0.685	1400
一宮上り	0.630	1550
一宮下り	0.658	1500

6. ETC データによる調整の検討

BPR 関数の精度検証として，設定した BPR 関数によって出力された所要時間と ETC データによって集計された所要時間を比較・調整方法を検討する. 比較は，配分リンクを複数個含み ETC データのとれる経路を設定し，経路ごとに比較する. BPR 所要時間については，当該経路に含まれるリンク内から代表となるトラカンの 1 時間合計交通量を BPR 関数に代入し，リンク距離をかけ，リンクの所要時間とする. そして当該経路内の全てのリンク所要時間を足し合わせ，当該経路の所要時間を求める. 今後，ETC データと BPR 所要時間の比較から BPR 関数の精度を検証し，パラメータを調整する.

7. まとめ

本研究では，BPR 関数の精度改善を目的として，単調増加関数の性質を持つデータを抽出するための基準およ

びパラメータの推定方法を検討した．データについては，渋滞領域のデータを含みつつ単調増加特性をもつデータを抽出できた．しかしながら，BPPR 関数用のデータの抜粋のところで渋滞部分のデータを多く削除しており反映できていない点は課題と言える．パラメータの推定は，従来のパラメータを利用しつつ実測値との誤差が小さくなるよう，交通容量は実測値の最大値から求め，パラメータ α，β は従来の値を利用，t0 のみ誤差最小化の計算から求めることとした．上記の方法で各路線の t0 と交通容量を求めた結果，オンオフランプやカーブ区間の影響で t0 や交通容量が変化する傾向にあることが分かった．今後，ETC データと BPR 所要時間の比較から，パラメータの調整をする．

INVESTIGATION OF HOW TO SET THE TIME BPR FUNCTION ON FREEWAYS

Kyosuke MITSUOKA, Motohiro FUJITA and Shinji YAMADA

With the expansion of expressways in the Chu kyo metropolitan area, strategic measures for optimization of wide-area traffic flow are expected to be taken in the future, and the importance of improving the accuracy of traffic allocation methods by time zone is increasing. In this study, we examined a method for setting the BPR function, which is mainly used as a traffic volume-duration function in traffic volume allocation, by utilizing the characteristics of continuous one-hour values of the traffic volume-duration relationship. First, as data for setting the BPR function, we examined the criteria for extracting data with the characteristics of a monotonically increasing function. Then, the estimation method of the parameters using the existing BPR function and the adjustment method of the parameters using the actual measured travel time calculated by ETC are examined.