Ⅳ-105　日リンクコスト関数の定式化と推定方法に関する研究

九州東海大学　正員　溝上　章志
名古屋工業大学　正員　松井　寛
ＪＲ東海　正員　可知　隆

１．はじめに

ＢＰＲ (Bureau of Public Roads) 型リンクコスト関数は時間単位で定義されている。しかし、交通量配分は、通常、日単位で行われることから、日交通量と一日の平均的コストとの関係を表す日単位のリンクコスト関数を定義する必要がある。本研究は、①日交通量配分に用いる合理的な日リンクコスト関数の導出を行うこと、②独自に行った所要時間実測データを用いたリンクコスト関数の推定手法を開発すること、③推定されたパラメータの考察を行うことを目的としている。

２．日リンクコスト関数の定式化

本研究では、①本来、時系列的に変動をしているリンク a を時間帯 i に走行している車両の単位距離当たり所要時間は、平均$\bar{t}_{ai}$、分散$\sigma^2_{a0}(\bar{t}_{ai})$　をパラメータとする確率分布に従う確率変数であり、②時間帯ごとの所要時間分布は独立で、交通量の24時間パターンは日交通量の大きさとは無関係に一定であるという基本的仮定をおく。いま、$\bar{t}_{ai}$が

$$\bar{t}_{ai} = t_{a0}\ [1+\alpha\,(\frac{q_{ai}}{q_{a0}})^{\beta}] \qquad (1)$$

なるＢＰＲ型の関数で表されると仮定する。q_{ai}はリンク a の時間帯 i の時間交通量、q_{a0}は時間可能容量、t_{a0}はゼロフロー時の所要時間、αとβはパラメータである。このとき、仮定②のもとでリンク a を走行する車両の日平均所要時間 $\bar{t}_a$、$\bar{t}_a$ 周りの分散σ^2_a は次式で表される。

$$\bar{t}_a = \sum_i q_{ai}\bar{t}_{ai}/\sum_i q_{ai} = (1/Q_a)\cdot\sum_i q_{ai}\bar{t}_{ai}$$
$$= t_{a0}\ [1+\alpha\frac{\sum_i \eta_{ai}^{\beta+1}}{\eta_{ai_{max}}^{\beta}}(\frac{Q_a}{Q_{a0}})^{\beta}\ ] \qquad (2)$$

$$\sigma^2_a = \sum_i \eta_{ai}[\sigma^2_{a0}(\bar{t}_{ai}) + \bar{t}^2_{ai}] - \bar{t}^2_a \qquad (3)$$

ここで Q_aは日交通量、Q_{a0}は日可能容量であり、通常、$q_{a0}/\eta_{ai_{max}}$で定義されている。η_{ai}は時間係数、$\eta_{ai_{max}}$ はピーク率である。式(２)より、日可能容量にQ_{a0}を用いたときの日ＢＰＲ関数は、形式上、時間ＢＰＲ関数のβの値はそのままで、αの値を $\sum_i \eta_{ai}^{\beta+1}/\eta_{ai_{max}}^{\beta}$ で修正すればよいことを示している。これは1.0 以下の値をとり、図－１の実線で示された時間ＢＰＲ関数を破線のように下方にシフトさせる割合を示す。式(２)によってすべてのリンクに日ＢＰＲ関数を設定するには $\sum_i \eta_{ai}^{\beta+1}$ とピーク率$\eta_{ai_{max}}^{\beta}$ をリンクごとに予測しておく必要がある。しかし、式(２)は

$$\bar{t}_a = t_{a0}[\,1+\alpha\ \{\frac{Q_a}{q_{a0}\cdot(\sum_i \eta_{ai}^{\beta+1})^{-1/\beta}}\}^{\beta}\ ] \qquad (4)$$

のように変形できる。q_{a0}は道路交通条件より与件となるから、$(\sum_i \eta_{ai}^{\beta+1})^{-1/\beta}$ さえリンクごとに予測できればすべてのリンクに日ＢＰＲ関数を設定できる。$q_{a0}\cdot(\sum_i \eta_{ai}^{\beta+1})^{-1/\beta}$ は、時間ＢＰＲ関数のαとβの値を日ＢＰＲ関数にそのまま用いたときの日可能容量に相当する量と見なすことができ、以後、換算日交通容量C_a と定義する。

３．リンクコスト関数の推定方法

式(１)、または式(４)のパラメータαとβ、およびリンク a を時間帯 i に走行する車両の所要時間の$\bar{t}_{ai}$周りの標準偏差関数を

$$\sigma_{ai} = \sigma_{a0}(\bar{t}_{ai}) = A\exp[\,B\,(\bar{t}_{ai} - t_{a0})\,] \qquad (5)$$

のように仮定したときのパラメータＡとＢの推定法を、所要時間データを集計ベースで取り扱うか非集計ベースで取り扱うかによって３種類提案する。

<MODEL-1>　所要時間調査データから、実測リンクの時間帯別単位距離当たり所要時間の平均値$\bar{t}_{ai}$と標準偏差値σ_{ai}を求め、q_{ai}と$\bar{t}_{ai}$から式(１)のαとβを、$\bar{t}_{ai}$とσ_{ai}から式(５)のＡとＢを、それぞれ非線形最小二乗法を用いて推定する。

<MODEL-2>　リンク a を時間帯 i に走行する各車両の所要時間は確率変数であると仮定した。このとき、n番目車両の所要時間t^n_{ai}がリンクごとに独立な　$f\,(t^n_{ai}|\bar{t}_{ai}, \sigma^2_{a0}(\bar{t}_{ai}))$ を密度関数にもつ確率分布に従うとする。この場合の尤度関数は、

$$L=\prod_{d}\prod_{i}\prod_{n} f\left(t_{di}^{n} \mid \overline{t}_{di}, \sigma_{d0}^{2}(\overline{t}_{di})\right) \qquad (6)$$

となり、これを最大にするパラメータ α, β, A, B を最尤法を用いて同時推定する。

<MODEL-3>　リンクaを一日の間に走行する車両の所要時間も、式(2)と(3)をパラメータにもつ確率分布に従う。n番目車両の所要時間サンプル t_d^n がリンクごとに独立な $f(t_d^n \mid \overline{t}_d, \sigma_d^2)$ を密度関数にもつ確率分布に従うとき、尤度関数は

$$L=\prod_{d}\prod_{n} f\left(t_{d}^{n} \mid \overline{t}_{d}, \sigma_{d}^{2}\right) \qquad (7)$$

となる。これを最大にするパラメータ α, β, A, B を最尤法により同時推定する。

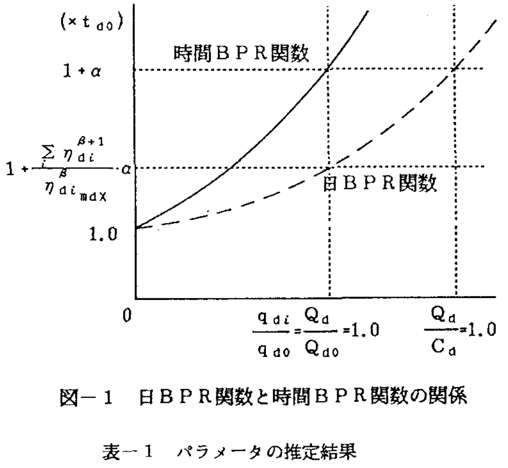
MODEL-1では、$\overline{t}_{di}$ と σ_{di}^2 を得るために、異なるリンクか時間帯を走行する相当数の車両の所要時間サンプルを必要とする。MODEL-2では、すべての実測所要時間がパラメータ推定のための非集計データとなるが、確率変数と仮定した所要時間が時間帯ごとに一定の分布に従うことが保証される数の走行車両の所要時間サンプルを必要とする。MODEL-3では、幾つかのリンクで一日を通じてランダムに抽出した走行車両の所要時間 t_d^k と時間帯別交通量 q_{di} のデータだけがあればよく、データ収集の面からは最も合理的である。

4．所要時間調査の概要とパラメータ推定結果

所要時間データは、昭和60年道路交通センサスにおける名古屋市内の30の24時間交通量観測道路区間上を試験車を走行させることによって収集した。調査時間帯は、一日の時間帯別交通量変動に伴う所要時間変動を代表すると考えられる朝ピーク時7～9時、昼オフピーク時14～16時、夕方ピーク時17～19時、夜間時22時以降の4時間帯とし、各時間帯に約10台の試験車両を走行させて区間所要時間を測定している。本調査から得られた所要時間の総サンプル数は1141である。以下では、簡単のためにMODEL-2、MODEL-3の分布形に正規分布を仮定したときの結果を述べるが、いかなる分布形であっても同様の手順で推定できる。

推定結果を表－1に示す。α は各モデルとも 1.0 前後の値であり、現在、日本で採用されている修正ＢＰＲ関数の $\alpha=2.62$ に比べて小さい。米国ＢＰＲ関数では $\alpha=0.15$ を用いているが、今回の推定結果はこれらの中間の値である。β は、MODEL-1で他の推定法よりやや過大に推定されているものの、1.20程度の値である。これは修正ＢＰＲ関数の 5.0、米国ＢＰＲ関数の 4.0と比較してかなり小さい。α は、時間交通量 q_{di} が時間可能容量 q_{d0}（または日交通量 Q_d が日換算容量 C_d）に達した場合の所要時間がゼロフロー時の所要時間 t_{d0} の（$1+\alpha$）倍になることを示すパラメータである。一方、β は関数の湾曲度を表す。従来、修正ＢＰＲ関数を用いた交通量配分に関する実証研究においては、交通容量に近い交通量が配分されるリンクでは所要時間が過大予測され、これと逆のリンクでは過小に予測される傾向にあった。これは、α と β がともに過大設定されているのが一つの原因と考えられる。本推定結果はこれを是正することができ、経験的にも妥当な値だと考えられる。

一方、ＡとＢは推定方法によって値がやや異なる。これは尤度関数の非線形性が高いためと考えられるが、おおむね $A=0.80$、$B=0.90$ であり、所要時間の標準偏差関数は平均所要時間の増加関数となる。



図－1　日ＢＰＲ関数と時間ＢＰＲ関数の関係

表－1　パラメータの推定結果

	α	β	A	B	lnL
MODEL-1	1.066 (3.46)	1.505 (4.72)	0.477 (4.86)	0.331 (1.81)	
MODEL-2	0.965 (3.79)	1.175 (4.82)	0.773 (11.2)	0.941 (4.56)	-0.181×10^4
MODEL-3	0.961 (6.90)	1.194 (6.16)	0.819 (13.4)	0.881 (6.64)	-0.187×10^4

注）データ数はMODEL-1が120、MODEL-2と3が1141である
　　下段の数値はｔ値である

Steenbrink,P.A.:Optimization of Transportation Networks,John Willey & Sons, 1974.
Branston,D.: Link Capacity Function ; A Rewiew, Transpn.Res.,Vol.10,No.4,pp.223-236,1973.