

交通量配分に用いる走行時間関数の パラメータ推定と影響分析

ESTIMATED PARAMETER VALUES OF TRAVEL TIME FUNCTIONS AND THEIR
DISTRIBUTION EFFECTS ON TRAFFIC ASSIGNMENT CALCULATION

西谷 仁志* 朝倉 康夫** 柏谷 増男***
by Hitoshi NISHITANI, Yasuo ASAKURA, Masuo KASHIWADANI

Parameter values for two types of Travel Time Functions, Davidson formula and BPR formula, are estimated using the observed link travel time and traffic counts in Matsuyama City. The estimated value is a little less than the corresponding value which has been used in Japan until now for both parameters of BPR function. Sensitivity tests of parameter values change on the calculated network flow are done. It is found that parameter α effects more strongly than parameter β dose in BPR function when congestion level of road network is near 1.00.

1. はじめに

交通量配分の方法論に関する研究の蓄積は豊富であり、日交通量を対象とする静的な配分手法に関しては、ほぼ完成の域に達している。しかしながら、配分結果の精度をより良くするためには、計算に際しての前提条件①リンク走行時間関数の関数形とパラメータ ②ネットワークの構成 ③OD交通量など条件設定が合理的になされるべきであるが、現状ではプランナーの経験的・直感的要素に依存して決められており、現実の配分計算でのひとつの障害となっている。

本研究は、前提条件のうちリンク走行時間関数に着目し、(1)観測データを用いたパラメータ推定と、

(2)パラメータが配分結果に及ぼす影響の分析の2点から考察を加えるものである。

2. 従来の走行時間関数推定

(1) 走行時間関数

交通量配分に用いられる走行時間関数のうち、これまでに提案された代表的なものは、Davidson関数とBPR関数である。

Davidson関数は次式で与えられる。¹⁾

$$t(q) = t_0 \left(1 + J \frac{q}{C - q} \right) \quad \cdots (1)$$

ここに、 q : 交通量

t_0 : 自由走行時間

C : 交通容量

J : リンクのタイプと沿道状況により決まるパラメータ

この関数は、道路区間を待ち行列システムとみなして導出されたという点で、理論的基礎を持っている

* 学生員 愛媛大学大学院 修士課程

** 正会員 工博 愛媛大学工学部助教授 土木工学科

***正会員 工博 愛媛大学工学部 教授 土木工学科

(〒790 松山市文京町3番)

るとされる。実際の道路交通流は単純な連続的待ち状態ではないために、パラメータJを導入して遅れの変動を調節する構造となっている。

Davidson関数の特徴は、図-1 に示すように、交通量が容量に漸近するにつれて、走行時間が無限大になる点にある。この特性は、交通量配分において、容量以上の交通量を生じさせないという点で望ましい性質である。しかし、利用者均衡配分の計算法では、特殊な計算法を用いなければならないという欠点を持つ。

B P R関数は交通量配分の際に一般的に用いられる走行時間関数であり、米道路局 (Bureau of Public Roads) で開発された。²⁾

$$t(q) = t_0 \left(1 + \alpha \left(\frac{q}{C} \right)^\beta \right) \cdots (2)$$

ここに、 α 、 β ：パラメータ

B P R関数は図-1 に示すように、交通量が容量を超過しても走行時間を計算できるという点で扱い易いという利点を持つ。しかしながら、この関数はどのような仮定に基づいて導出されたかが明かではなく、理論的な根拠が弱いという欠点がある。

(2) 従来のパラメータ推定値

Davidson関数の従来のパラメータ推定値は、Davidsonらが求めた値¹⁾とTaylorが求めた値³⁾が知られている。Davidsonが推定したJの値は0.0433であったが、利用したデータや内容は不明で、どのような条件で求められたものか明かでない。Taylorは、市電の影響の有無によるパラメータを推定している。市電に影響されない区間では $J=0.19$ であるが、市電に影響される区間は $J=0.35$ である。これまでに提案されている値から、Jの値はかなり幅を持つことがわかる。

アメリカで提案されたB P R関数のパラメータ値は、 $\alpha=0.15$ 、 $\beta=4.0$ 、オランダで開発された修正B P R関数のパラメータ値は、 $\alpha=2.62$ 、 $\beta=5.0$ とされている。⁴⁾また、溝上ら⁵⁾は交通量の時間変動に着目したパラメータ推定法を開発し、実測調査からパラメータ α を1.0程度、 β を1.2~1.5程度と推定している。

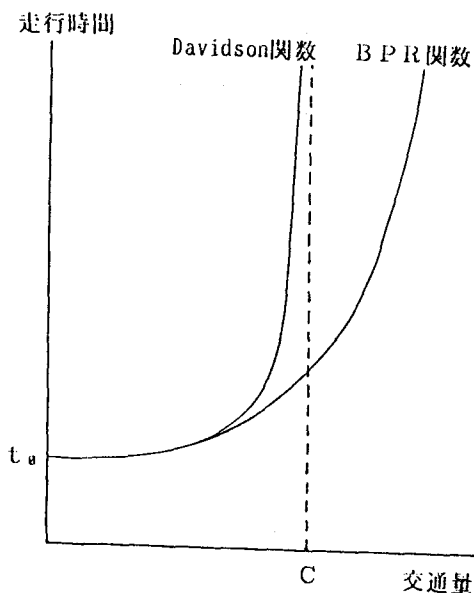


図-1 走行時間関数

3. 走行時間関数のパラメータ推定^{6), 7)}

本研究では、走行時間関数のパラメータ推定を図-2に示すフローチャートに従って、観測データごとに行う。観測したデータは①走行調査と路測調査から観測した走行時間と交通量のデータ（以下走行データとする）、②車両感知器で観測された（以下感知器データとする）交通量と占有率のデータ、③車両感知器で観測された交通量と速度のデータの3種類である。①②のデータは車線数の影響を考慮し

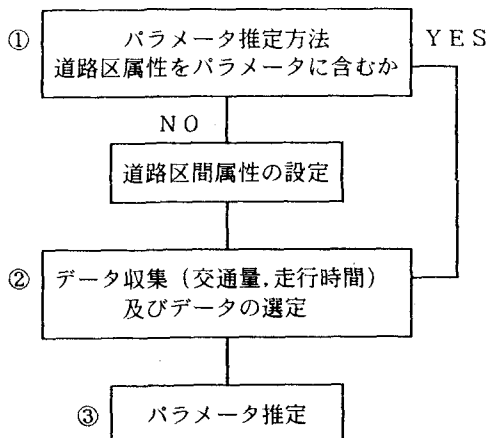


図3-1 推定手順のフローチャート

ないために、2方向2車線の道路区間に限定している。また、③のデータは車線数の違いに着目し、多車線の道路区間についても観測している。

(1) 走行データを用いたパラメータ推定

a) 推定方法

特定の道路区間の交通量 q_i と走行時間 t_i の観測データが n 組与えられたとする。(i: サンプル番号)パラメータ推定値は、走行時間の観測値と推定値の自乗誤差の総和 U を最小にすることにより得られる。

$$U = \sum_{i=1}^n (t_i - t(q_i))^2 \quad \cdots (3)$$

Davidson関数では、観測データから t_0 、 J 、 C を推定することができる。推定手順は一種の非線形最適化計算であり、 C の直接探索と、与えられた C に対する最小自乗法を組み合わせることで繰り返すものである。BPR関数では、同様の方法により t_0 、 α 、 β を推定することができるが、容量 C は外生的に与える必要がある。直接探索すべきパラメータは β で、 t_0 、 α は与えられた β に対する最小自乗推定量を変換することにより求められる。

BPR関数の推定で外生的に与える時間可能容量 C については、対象とする道路区間の道路条件、交通条件を考慮し、基本交通容量を補正することによって求めた。

b) データ収集

パラメータ推定に必要なデータは、時間交通量とそれに対応する時間帯における単位距離当りの平均走行時間である。交通量と走行時間のデータは、松山市内の県道187号線と国道196号線の2区間について、走行調査と路側調査を行い収集した。同一区間を数回走行し、その平均を走行時間とした。各区間について時間帯を変えて調査し、渋滞領域にあると考えられるデータを除いて、県道187号線では9組、国道196号線では17組の実測データを得た。ここで

は、より適合性のよい国道187号線のデータについて図-3に示す。

C) 推定結果

走行データを用いたパラメータ推定は2区間それぞれに対して行い、結果を表-1に示している。図-3の曲線は、県道187号線の走行データを用いて推定した2種類の走行時間関数であり、図中 a がDavidson関数、 b がBPR関数に対応している。

これらの結果からDavidson関数のパラメータ J は約0.35、BPR関数におけるパラメータ α は0.6~0.7、 β は3.0前後であると考えられる。 t_0 の値は道路区間の規制速度と対応した値となっており、どちらの関数でも推定値はほぼ一致している。図-3のようにDavidson関数(曲線 a)とBPR関数(曲線 b)は、データの分布している領域では類似した曲線を描くが、その領域を越えると2つの曲線は異なった形状となる。

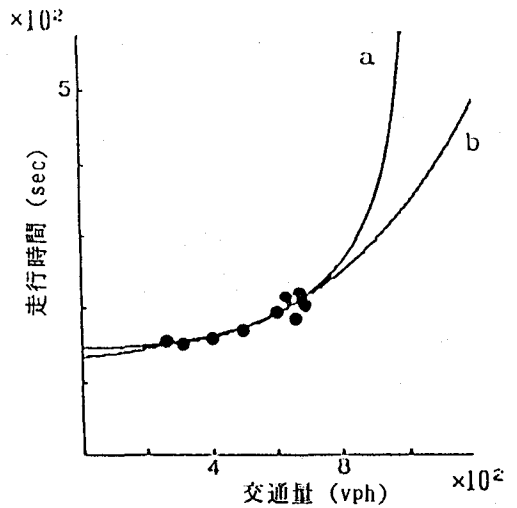


図-3 走行データと推定した走行時間関数

表-1 走行データを用いたパラメータ推定値

走行時間関数		Davidson関数			BPR関数			
観測区間	サンプル数	t_0 (sec)	J	C (vph)	C (vph)	t_0 (sec)	α	β
県道187号線	9	135	0.354	1100	800	147	0.701	2.9
国道196号線	17	192	0.373	1760	1200	212	0.609	3.0

注) 区間距離 県道187号線: 1.5km, 国道196号線: 2.65km

(2) 交通量と占有率の感知器データを用いた
パラメータ推定

a) 推定方法

推定するパラメータは、(1)と同様にDavidson関数では J 、 C 、 t_0 、BPR関数では α 、 β 、 t_0 とした。また、推定方法も同様とした。ただし、ここで得られるデータは、時間交通量と時間占有率(0c%)のデータであるために、次式により走行時間のデータに変換した。

$$t_i = 100 C_i / (L q_i)$$

ここに、 L :平均車長(5.5mと仮定)である。

容量 C は、便宜的に各調査地点で観測された最大交通量とした。

b) データ収集

松山市周辺の2方向2車線の道路区間について、愛媛県警の車両感知機で観測された、時間交通量と時間占有率のデータ収集を行った。観測地点数は22地点で、各地点ごとに約300組のデータを得た。(図-4)このうち、走行時間が観測された最大交通量に対応する時間帯の平均走行時間よりも大きいデータは、渋滞領域にあると見なし削除した。

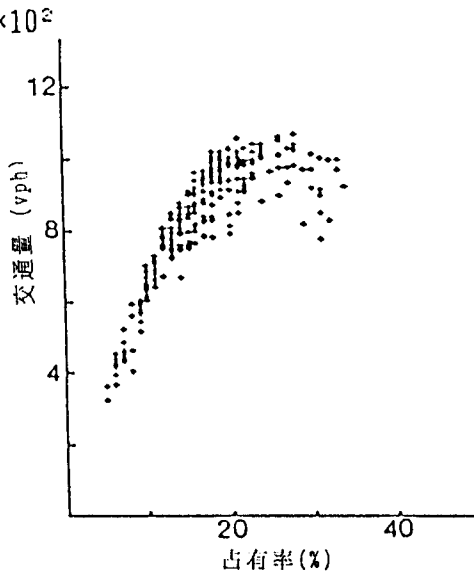


図-4 交通量と占有率のプロット

c) 推定結果

パラメータ推定を地点別に行った。地点の属性が異なるために、パラメータ値にはばらつきが見られるが、Davidson関数のパラメータ J は0.2の近傍

の値、BPR関数のパラメータ α は0.5前後、 β は3.0前後の値が多いことがわかった。

(3) 交通量と走行速度の感知器データを用いた
パラメータ推定

パラメータ推定はBPR関数についてのみ行い、車線数の違いに着目し、推定したパラメータ値の比較を行った。

a) 推定方法

推定方法は(1)、(2)と異なり、道路区間属性 C 、 t_0 をあらかじめ設定し、関数を線形に変換して通常の最小自乗法、もしくは非線形最小自乗法を用いて、パラメータ α 、 β の値を推定する。

(I) 道路区間属性の設定

ここでは、非渋滞時のデータのみに限定するため、渋滞に至る点での走行時間(t_f)を与えた。 C 、 t_0 、 t_f の値の設定には次の方法を用いた。

交通量、走行速度、交通密度には渋滞領域を含めて次のような関係があると仮定する。

$$V_i = V_0 - b k_i \quad \dots (4)$$

$$q_i = 2 V_f k_i - b k_i^2 \quad \dots (5)$$

ここに、

- k_i : 交通密度 V_i : 走行速度
- q_i : 交通量 V_0 : 自由走行速度
- V_f : 渋滞に至る走行速度
- b : パラメータ

まず、 q_i 、 V_i の観測値から k_i を計算し、式(4)を用いて V_0 の値を、また、式(5)を用いて V_f の値をそれぞれ得る。その後、 V_0 、 V_f の逆数として t_0 、 t_f の値を得る。また、 C の値は式(5)の数式上の最大値として決められる。

(II) パラメータ値の推定法

線形最小自乗法: 式(1)に示すBPR関数の両辺の対数をとって線形変換する。すなわち、

$$\begin{aligned} & \text{Log}(t/t_0 - 1) \\ &= \text{Log} \alpha + \beta \text{Log}(q/C) \quad \dots (6) \end{aligned}$$

α は回帰パラメータから得ることもできるが、 t_0 と t_f より、次のように定めることも可能である。

すなわち、

$$t_f = t_0(1 + \alpha) \text{ より}$$

$$\alpha = t_f/t_0 - 1 \text{ となる。}$$

非線形最小自乗法: 式(1)を次のように書き改める。

$$t/t_0 = 1 + \alpha (q/C)^\beta \quad \dots (7)$$

そして、Newton-Raphson 法により自乗誤差を最小にするパラメータ α 、 β の値を繰り返し計算によって求める。

b) データ収集

ここでは愛媛県警の車両感知器によって観測された時間交通量と走行速度のデータを用いる。なお、走行速度は該当する時間帯の平均走行速度である。車両感知器は松山市周辺の 94 箇所の地点に配置され、24 時間常時観測されている。そのすべての調査地点について 8 日分のデータを収集した。車線数別に見た観測地点数の内訳は、2 方向 2 車線が 49 地点、片側 2 車線が 38 地点、片側 3 車線が 7 地点である。なお、調査地点については (2) で用いたものと重複しているが、データの観測日は異なる。

c) 結果と考察

94 各地点ごとにパラメータの推定を行い、その安定性を比較した。これは、地点ごとに 192 (24×8) 組のデータが得られたことと、渋滞の発生頻度などの地点属性が異なるため、データをプールして推定することに問題があると考えたためである。

まず、各地点の属性の推定結果を見ると、自由走行速度は規制速度から -2~+10 km/hr の間で変動していた。交通量はほとんどの道路区間で妥当と考えられる値を示すが、混雑の生じない区間では非現実的な値となっている。渋滞に至る走行速度は規制速度のおよそ 1/2 程度の値であった。

提案したパラメータ推定法による結果を比較すると、パラメータ値の変動が最も小さかったのは道路区間属性から α を先決し、線形最小自乗法によって β を推定する方法であった。その理由としては、各道路区間の属性が非渋滞領域を含めたデータを利用して推定されており、混雑の小さい区間に対しても、 α の値が安定していること、また、 α が先決されているために、 β の推定に対して変動が小さくなること、が挙げられる。

また、車線数によるパラメータ値の差異については、以下のことがいえる。2 車線 2 方向の場合、 α は 0.8~1.0、 β は 3.0 であった。多車線では α は 0.7~0.9、 β は 1.5~2.0 であった。パラメータ値は車線数に影響を受けていると考えられ、 α と β とも

に多車線の方が小さくなっている。多車線の道路区間を 2 方向 2 車線と比較すると、① β が小さいことから、混雑率が 1.0 未満の場合には、交通量の増加に伴い走行時間はより大きく変化する、② α の値も僅かながら小さいことから、走行時間の遅れ率が小さい状態で渋滞になると考えられる。

(4) まとめ

① Davidson 関数のパラメータ J は、2 方向 2 車線の道路区間では 0.2~0.35 程度の値で、Davidson が推定した 0.043 よりも Taylor が独自に推定した 0.35 に近い値であった。

② BPR 関数のパラメータ値は、2 方向 2 車線の道路区間について、 α は 0.6~1.0 位、 β は 3.0 前後の値であった。我々の得た値は α は BPR 関数で従来用いられていた値 0.15 よりも大きく、修正 BPR 関数の 2.62 よりも小さい。 β はこれまでに用いられてきた 4.0 や 5.0 よりもやや小さいことがわかった。

③ BPR 関数のパラメータを、2 方向 2 車線と多車線の道路区間について比較すると、 α は多車線の方が僅かながら小さく、 β も多車線の方が 1.0 程度小さいことがわかった。

4. パラメータの影響分析⁶⁾

(1) 考え方

走行時間関数のパラメータの値が、ネットワーク交通流に及ぼす影響を調べるために、利用者均衡配分の結果を用いた分散分析を行う。対象とする走行時間関数は、BPR 関数とした。

具体的な分析手順は、以下の通りである。① BPR 関数のパラメータ (α , β) の組合せを複数設定し、それぞれについて利用者均衡配分を行う。② 配分結果を加工して、ネットワーク全体での交通流の評価指標 (後述) を求める。③ 2 元配置の分散分析により、評価指標に対するそれぞれのパラメータの寄与率を求める。④ ネットワーク全体に負荷する配分対象トリップ数を変化させ、①~③による影響分析を行う。

(2) 評価指標

ネットワーク全体の交通状態を評価するために、

①総走行時間 ②リンク走行時間の平均及び変動係数 ③総走行距離 ④リンク交通量の変動係数、計4種類の評価指標を用いる。これらの評価指標は、利用者均衡配分結果から得られる均衡交通量と走行時間を加工することにより求めることができるものである。

ここで走行時間については、走行時間関数のパラメータの差異は、走行時間に最も顕著に表れると考えられるため、ネットワーク全体の走行時間の総和である総走行時間と個々のリンク走行時間の単純平均を用いて評価している。なお、リンク走行時間については、パラメータ値が異なることによるリンク間のばらつきを考慮するため、変動係数についても調べる。

総走行距離は、リンク交通量とリンク長の積和であり、パラメータ値とトリップ距離との関連を調べるための指標である。

リンク交通量の変動係数については、パラメータ値が異なることにより、混雑による迂回パターンが異なる結果、リンク間相互で交通量に偏りが生じるか否かを調べるために、設けたものである。なお、これは同一リンクで求められる交通量の変動係数ではないことを注意されたい。

(3) 分散分析の方法

分散分析は、パラメータ間の交互作用を考えず、各パラメータ値の違い、つまり、 a : パラメータ α の水準、 b : パラメータ β の水準 を因子とする、2元実験配置として行う。

2元配置の分散分析⁷⁾では、F検定を用いて、各水準の差異の有無を調べるとともに、パラメータ α 、 β が変動の原因の何%を占めているかを調べるために、寄与率 (ρ) を次のように求めた。⁸⁾

$$\rho_a = \frac{a \text{ の純変動}}{\text{全変動}} = \frac{S_a - f_a V_e}{S_T} \dots (8)$$

ここに、 S_a : A 因子 2 乗和 f_a : A の自由度

V_e : 誤差分散 S_T : 全変動

なお、式(8)の a を b に変えれば、因子 b についての寄与率も同様に求めることができる。

(4) データ

ネットワーク及びOD表は LeBlanc⁹⁾ が用いた Sixous Falls のデータである。ただし、LeBlanc が

用いた走行時間関数は、

$$t_i(q_i) = A_i + B_i q_i^4$$

A_i, B_i : パラメータ

であるため、

$$t_{i0} = A_i$$

$$C_i = (A_i / B_i)^{1/4}$$

のような変換を行って、BPRタイプの走行時間関数とした。

また、ネットワーク全体の平均的な混雑水準(交通量/容量)が 1.0 程度となるように、LeBlanc が用いた配分対象トリップ数を修正し、さらにその値を 0.5、1.0、1.5倍、2.0倍して混雑の違いによる影響を調べた。以下では、この値を混雑水準と呼んでいるが、この値は 1.0 の場合を除いて、均衡交通流から計算されたリンク混雑率とは必ずしも一致しない。

走行時間関数のパラメータの範囲は、従来の研究と本研究で推定した値を参考にして設定した。パラメータ α は 0.5~2.0 の範囲で 0.5刻み、パラメータ β が 1.0~5.0 の範囲で 1.0刻みである。分散分析では α について 4 水準、 β について 5 水準を設定したことになる。

(5) 結果と考察

(1) 総走行時間 : 配分対象交通量を変えて、それぞれについてパラメータ α と β の寄与率を求めたものが図-5 (I) である。混雑水準が 1.0 の場合はパラメータ α の寄与率が 90% と支配的であるが、それ以外では 20%程度であり、誤差変動と比較して大きいとは言えない。一方、 β の寄与率は、混雑水準が 1.0 の場合を除いて、50%を越えていることがわかる。

BPR関数の関数形から明らかなように、リンクの混雑率がちょうど 1.0 であれば、リンク走行時間は β の値に全く影響を受けず、 α の値と自由走行時間の値によって決まる。ネットワーク全体の混雑水準が 1.0 であれば、リンク混雑率も 1.0 の近傍であると考えられるから、このときパラメータ β がネットワーク全体に及ぼす影響は小さくなるのである。

BPR関数では、リンク混雑率が 1.0 未満の場合には、 β が大きいほど走行時間の値が小さくなる。したがって、パラメータの値を変化させたときの総

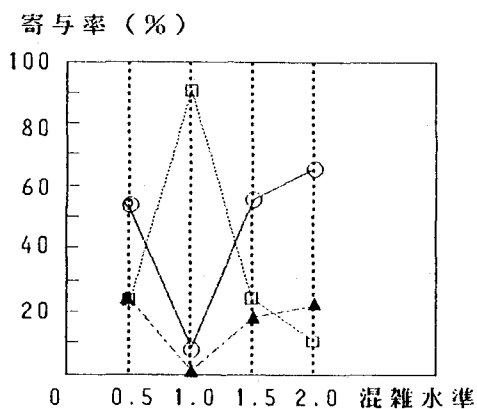


図-5 (I) 総走行時間の寄与率

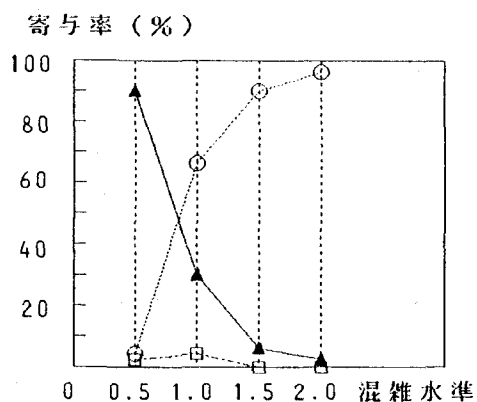


図-5 (IV) 総走行距離の寄与率

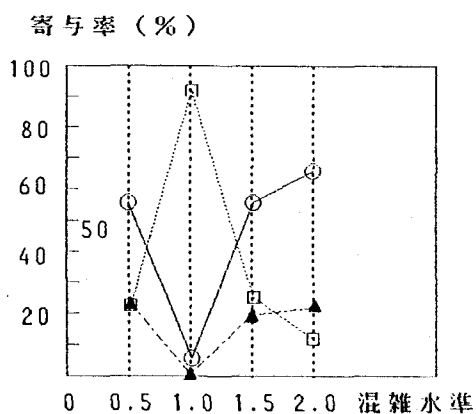


図-5 (II) 走行時間の平均の寄与率

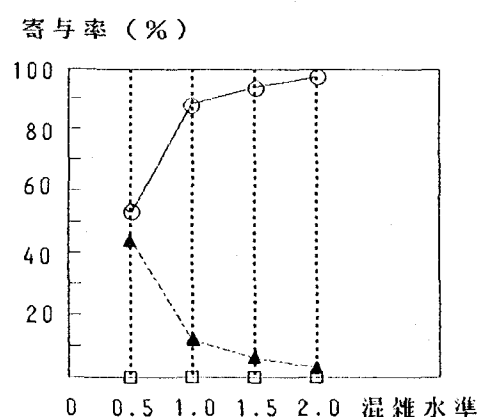


図-5 (V) 交通量の変動係数の寄与率

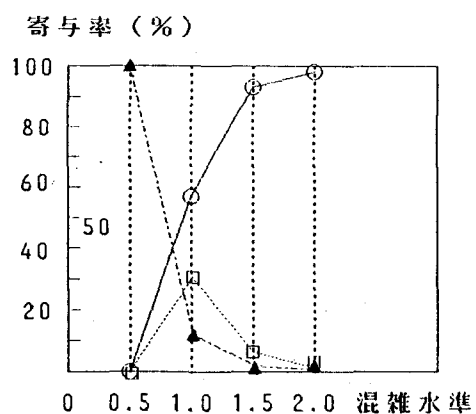


図-5 (III) 走行時間の変動係数の寄与率

- ρ_a : α の寄与率
- ρ_b : β の寄与率
- ▲ ρ_e : 誤差の寄与率

走行時間の値の変化傾向は、混雑率が 1.0 を越える場合と逆であるが、パラメータの寄与の程度は同様であることがわかった。

(2) 走行時間の平均、変動係数：図-5 (Ⅱ) からわかるように、走行時間の平均を指標とした場合のパラメータの寄与率は、総走行時間を指標とした場合と同じであった。

これに対し、図-5 (Ⅲ) に示すように、走行時間の変動係数を指標にすると、混雑水準が低ければいずれのパラメータの寄与率も小さいが、混雑水準が高くなるにつれてパラメータ β の寄与率が大きくなること、特に混雑水準が 1.5 以上では 90% 以上となることがわかった。

混雑水準が低い場合に、パラメータ値の影響度が相対的に小さいことは、リンクの自由走行時間の違いがリンク間の走行時間のばらつきを支配していることによるものと考えられる。実際、混雑水準が 0.5 の場合には、いずれのパラメータの組に対しても変動係数は 0.37~0.40 であった。

(3) 総走行距離：図-5 (Ⅳ) は総走行距離を指標とした場合のパラメータの寄与率である。混雑水準が 0.5 のとき、パラメータ α の寄与率は 90% を越えているが、混雑水準が低くなるにつれてその寄与率は一様に低下している。逆に、 β の寄与率は次第に大きくなっている。また、ランダム変動は小さいことがわかる。

なお、混雑が大きくなると、迂回によるトリップ長の増加のために総走行距離は長くなる。この傾向は、パラメータの値が大きくなればなるほど強くなるが、混雑水準が最も大きい場合でも、パラメータ値の組による差は最大 10% 程度であった。

(4) 交通量の変動係数：図-5 (Ⅴ) はリンク交通量の変動係数の対する寄与率を示している。パラメータ α の寄与率は混雑水準によらず極めて小さいが、 β の寄与率は混雑水準が高くなるとともに大きくなっていることがわかる。

これは、交通量が少なければ、交通流は自由走行時間の影響を受けやすいので、パラメータの違いによるリンク交通量の偏りは小さいからである。実際、パラメータの組を変えたとき、混雑水準が 0.5 の場合には、リンク交通量の変動係数は 0.37~0.39 の範囲にあり、混雑水準が 2.0 の場合には 0.35~

0.42 の範囲にあった。

以上の結果は、次のようにまとめることができる。

- ① 混雑水準が 1.0 の近傍では、走行時間に関してパラメータ α の影響が支配的である。
- ② 混雑水準が高くなるにつれて、いずれの評価指標においてもパラメータ β の寄与率の方が高くなる。
- ③ パラメータ α は、リンク交通量の偏りに影響しない。

実際の交通量配分では、リンク混雑率は 0.5~1.5 の範囲でばらついていることが多いと考えられるため、どちらのパラメータがより重要であるかを単純に結論づけることはできないが、混雑水準が 1.0 の近傍で走行時間に関して α が支配的であることに注意する必要がある。

【参考文献】

- 1) Davidson K.B.: A Flow Travel Time Relationship for Use in Transportation Planning, Proc. Australian Road Res. Board, Vol.3, No.1, pp. 183-194, 1966
- 2) Branston D.: Link Capacity Functions: a Review, Transpn. Res., Vol.10, pp.223-236, 1976
- 3) Taylor M.A.P.: Parameter Estimation and Sensitivity of Parameter Values in a Flow-Rate/Travel-Time Relation, Transpn.Sci., Vol.11, pp.275-292, 1977
- 4) Steenbrink P.A.: Optimization of Transport Networks, John Wiley, 1974
- 5) 溝上・松井・可知：日交通量配分に用いるリンクコスト関数の開発，土木学会論文集，第401号/IV-10, pp.99-107, 1989
- 6) 朝倉・西谷：交通量配分に用いる走行時間関数のパラメータ推定，愛媛大学工学部紀要，Vol.12, No.2, pp.107-118, 1991
- 7) 西谷・朝倉・柏谷：実測データによる BPR 関数のパラメータ推定，JSCE 第45回中四支部年講概要集，pp.408-409, 1991
- 8) 田口：実験計画法 上，丸善株式会社，1962
- 9) LeBlanc L.J.: An Algorithm for Discrete Network Design Problem, Transpn.Sci., Vol.9, pp. 183-199, 1975