

動的車種別交通量配分モデル

名古屋大学工学部教授 河上省吾
東京都交通局 館江宏明

1. リンクパフォーマンス関数について

従来のリンクパフォーマンス関数は主に、あるリンクの交通流量とそのリンクの走行所要時間との関係式として知られている。しかし本研究ではあるリンク上に存在する車存在台数とリンク走行所要時間との関係式をリンクパフォーマンス関数とし、なおかつ車存在台数のところに異なる車種間での相互影響を表す係数を含ませる。

当研究室で開発された異なる車種間の相互影響を考慮したリンクパフォーマンス関数に以下のようなBPR型関数がある（ここでは簡単のため単一車種での式を示す）。

$$c_a = c_{a0} \left\{ 1 + \alpha \left(\frac{q_a}{CP_a} \right)^\beta \right\} \quad (2.3)$$

ここで CP_a : リンク交通容量
 c_{a0} : リンク自由走行時間

また上式の交通流量と車存在台数との関係は

$$x_a = q_a \times c_a \quad (2.4)$$

となっている。この式(2.4)を式(2.3)に代入し整理すると、

$$x_a = CP_a \times c_a \left\{ \frac{1}{\alpha} \left(\frac{c_a}{c_{a0}} - 1 \right) \right\}^{\frac{1}{\beta}} \quad (2.5)$$

このリンク a における車存在台数とリンク走行所要時間との関係は式(2.5)を見ると陰関数となっているため車存在台数 x_a によってリンク走行所要時間 c を求めることはできない。そこで車種ごとに次のような近似式を示す。

$$c_{ac} = k_c \cdot \frac{x_{ac} + \xi x_{ar}}{CP_a} + c_{a0c} \quad (2.6)$$

ここで k_c は普通車のパラメータ

ξ は大型車の普通車に対する影響

一般的に広く用いられているBPR関数とこれらの近似式を比較したものが図-1、図-2である。車存在台数の少ないあたりではBPR関数の値は平坦になっており、この部分を直線で近似することについては交通密度が増加すると空間平均速度が低減することから直線近似することは

妥当であると判断した。この図と相関係数から近似式を用いることは問題はないと考えられる。ただし、近似式内の異なる車種間での相互影響を示す係数についての議論をする必要がある。

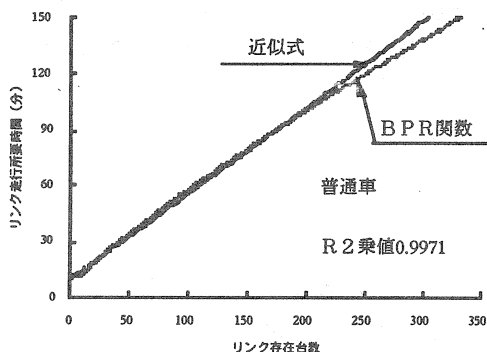


図-1 リンク費用関数（普通車）

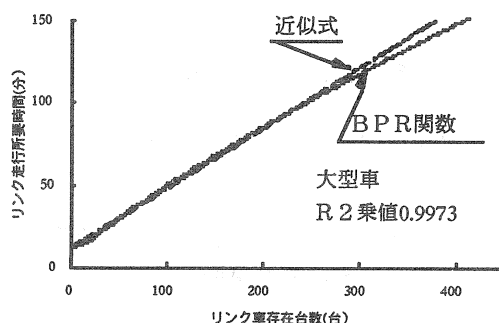


図-2 リンク費用関数（大型車）

ここでは、名古屋市の国道23号で実測した結果から推定した計数値を用いた。

2. 動的車種別交通量配分モデルの定式化

本研究で用いる動的車種別交通量配分モデルの基本的な考え方は、多車種が混在している道路を車種の数だけの単車種リンクに分解し、同一リンクを走る車種間の相互影響を単車種のリンク間の相互影響とみなし、リンク間の相互影響を考慮した単車種動的配分モデルを修正することでモデルを定式化するものである。

それでは車種別の動的配分モデルで満足されねばならない条件を考えるが、まず定式化に用いる主な変数を示しておく。

T：時間帯幅

L：ネットワークのノードの集合

S：ネットワークの目的地の集合

I：ノードjに入るリンクの集合

O：ノードjから出るリンクの集合

J：車種J（J=C：普通車、J=T：大型車）

$u_{a,n}^J(t)$ ：時刻tにおける目的地がnであるリンクaに流入する車種Jの交通量

$w_{a,n}^J(t)$ ：時刻tにおける目的地がnであるリンクaから流出する車種Jの交通量

$x_{a,n}^J(t)$ ：時刻tにおける目的地がnであるリンクa上の車種Jの車存在台数

$x_{a,n}^J(t)$ ：時刻tにおける車種Jの車存在台数

$c_{a,n}^J(t)$ ：時刻tにおける車種Jのリンクaの通過所要時間

$g_{j,n}^J(t)$ ：時刻tにおけるノードjから目的地nへ発生する車種Jの交通量

まず、式(2.1)をもう一度示すと、

これより

$$x_{aJ}^n(t) = x_{aJ}^n(0) + \int_0^t u_{aJ}^n(v) dv - \int_0^t w_{aJ}^n(v) dv \quad (3.1)$$

式(3.1)はリンク状態方程式から導かれるリンク状態に関する条件式である。

また交通流の分岐点では各時刻における流入交通量と発生交通量の和は流出交通量と等しくなるという条件を満足しなければならない。すなわち、

$$g_{jJ}^n(t) + \sum_{a \in I_j} w_{aJ}^n(t) = \sum_{a \in O_j} u_{aJ}^n(t) \quad (3.2)$$

この式は各ノードにおける交通流の保存条件式である。この条件において注意すべきことがある。一般に動的な交通量配分問題では時刻 t における OD 交通量とは時刻 t において出発地から出発する交通量であり、その交通量の目的地への到着時刻が未知となっている。したがって、集中交通量を制約条件に盛り込むことは不適當であるということができ、ノードでの交通量保存条件は式(3.2)のような集中交通量を含まない形となる。

さて、もし時刻 t にある車種 J の車がリンク a に流入し、その時刻のリンク a の通過所要時間が $c_{aJ}(t)$ であれば、その車種 J の車は時刻 $(t + c_{aJ}(t))$ にリンク a から流出するはずである。したがって、時刻 t におけるリンク a の流入交通量と時刻 $(t + c_{aJ}(t))$ におけるリンク a の流出交通量は車種 J ごとに等しく、次式が成立するといえる。

$$u_{aJ}^n(t) = w_{aJ}^n(t + c_{aJ}(t)) \quad (3.3)$$

この式もリンク状態に関する条件式である。また、

$$x_{aJ}(t) = \sum_{n \in S} x_{aJ}^n(t) \quad (3.4)$$

$$c_{aC} = k_C \cdot \frac{x_{aC} + \xi x_{aT}}{CP_a} + c_{a0C} \quad (2.6)$$

ところで動的利用車配分問題には異なる2つの経路選択規範がある。一つは予測的経路選択規範であり、もう一つは応答的経路選択規範である。両者はいずれも利用車が最短所要時間の経路を選択するのであるが、違いは最短経路についての考え方である。前者は、目的地に到着するまでの将来時間内において自分が選択する経路上で実現する所要時間を完全に予想した上での最短経路を選択する。後者は、目的地までの所要時間は時々刻々変化するが、経路選択の際にその直前状態における最短経路を選択する(したがって、事後的にみると利用者が選択した経路が必ずしも OD 間の最短経路であったとは限らない)。本研究では、序論でも述べたように後者の応答的経路選択規範にしたがう。次に、この規範に従い、目的関数と制約条件を示す。

Liu は応答的経路選択規範の下では以下の結論が得られることを証明した。

- 1) 応答的経路選択規範の下での利用者最適では、制御変数として各時刻のリンク流入交通量 $u_{aJ}^n(t)$ は道路網の直前状態によって決められるものであり、将来の道路網状態の影響を受け

ない

2) 状態変数として各時刻 t の各リンク上の車存在台数 $x_{aj}^n(t)$ はそれ以前の時刻のリンク流入交通量によって決められるものであり、その時刻 t のリンク流入交通量 $u_{aj}^n(t)$ はリンク上の車存在台数 $x_{aj}^n(t)$ に影響しない。

本研究は交通量を車種別に取り扱っているが車種ごとに最適化を目指して経路選択を行っていると考えているので、車種ごとには以上の結論は成立しているといえる。そして時刻 t におけるリンク a の起点からリンク a を通る目的地 n までの最短所要時間を $\lambda_{aj}^n(t)$ と設定する。以上から応答的経路選択規範の下での利用者最適化モデルは次のように定式化できる。

$$\text{Min } Z_j(t) = \sum_n \lambda_{aj}^n(t) \times u_{aj}^n(t) \quad (3.5)$$

Subject to:

$$\sum_{a \in O_j} u_{aj}^n(t) = g_{jj}^n(t) + \sum_{a \in I_j} w_{aj}^n(t) \quad \forall n, \forall k, k \neq n \quad (3.2)$$

$$\sum_{a \in O_n} u_{aj}^n(t) = 0 \quad \forall n \quad (3.6)$$

$$x_{aj}^n(t), w_{aj}^n(t), u_{aj}^n(t) \geq 0 \quad \forall a \in L, n \in S \quad (3.7)$$

$$\int_t^{t+c_{aj}(t)} w_{aj}^n(\tau) d\tau = x_{aj}^n(t) \quad \forall a, \forall n \quad (3.8)$$

$$\frac{dx_{aj}^n(t)}{dt} = u_{aj}^n(t) - w_{aj}^n(t) \quad \forall a, \forall n \quad (2.1)$$

$$\lambda_{aj}^n = c_{aj}(t) + \sum_k \delta_{kj}^{an}(t) \times c_{kj}(t) \quad (3.9)$$

$$c_{aj}(t) = f_j(x_{ac}(t), x_{at}(t)) \quad (3.10)$$

$$\delta_{kj}^{an}(t) = \begin{cases} 1 & \text{: 車種 } J, \text{ リンク } a \text{ の終点から目的地 } n \text{ までの最短経路上にリンク } k \text{ がある時} \\ 0 & \text{: そうでない時} \end{cases}$$

$$x_{aj}(t) = \sum_{n \in S} x_{aj}^n(t) \quad \forall a \quad (3.4)$$

このモデルが等時間原則を満足しながら車種ごとに最適状態を目指しているので、全体として最適状態を得られるといえる。

3. 名古屋市への適用

3.1 データの概要

この章では、本研究で開発された動的・車種別交通量配分モデルを名古屋市主要幹線道路ネットワークに適用し、モデルの現況再現性の検討を行い、さらにモデルによる交通需要予測を行うことで交通需要管理政策について議論する。分析対象地域の名古屋市では、自動車起終点調査における75の小ゾーンを区ごとに集計して16ゾーンとし、市域外を10ゾーンに集計した。配分対象地域は26ゾーンとなっている。

道路ネットワークはノード数154、リンク数253であり、主に名古屋市の主要幹線道路網に対応している。名古屋市の簡略化した道路ネットワークを図-3に示す。

ここで明示しておく事がある。本研究は交通量最適配分を行っているため、ネットワーク図を見るとわかるが、発生交通量をセントロイドのみからでなく、発生交通量をゾーン内のいくつかのノードに分散させている。従って発生交通量の起点となるノードが78、交通量の目的地となる終点ノードが名古屋市内のセントロイドである16のノードとなっている。これはFIFOを考慮した動的交通量配分モデルで最適配分を行う際の特徴と言える。前章の終わりの方でも述べたが、交通量最適配分モデルでは、ある時間帯に同じ起点から発生した同車種同目的地の交通量は、同じ経路をたどって目的地に向かう。これはFIFOの影響と均衡計算を行わないことから生じる結果である。このことから、実際のネットワークにおいてセントロイドのみから交通量を発生させると選択する経路が偏ることになる。この点を防ぎ、より現実的なモデルとするため以上のような事を行った。この実証分析を行うに際して、平成2年度に実施された道路交通センサス自動車起終点調査車種別ODデータを利用する。車種別ODとしては普通車（乗用車+小型貨物車）と大型車（普通貨物車+バス）の2つの車種を考慮している。また発生交通量は昭和56年に実施されたパーソントリップ調査から、名古屋市に流入する交通量を一時間ごとに集計し、平均を取ることで一分間あたりの発生交通量とした。

3.2 モデルの現況再現性の検討

名古屋市域を通る主要幹線道路の12時間交通量を一時間当たりの交通流量として平均化したものと、計算により出力された一時間当たりの交通流量とを比較したものが図-4、図-5である。推定値は各時間帯のリンク車存在台数をその時間帯のリンク走行所要時間で割ることで得られた一分あたりのリンク交通流量を720分間合計し一時間当たりの交通流量として算出したものである。図-4は全車種についての相関図であり、横軸が観測値、縦軸が推定値となっており、また図-5は普通車についての相関図である（サンプル数163）。相関係数は、全車種については0.667、普通車については0.688となり、比較的良い結果が得られたと考えられる。

また道路交通センサスよりピーク時の各リンクの交通流量（台/時）のデータが得られたため、ピーク時間帯をAM8:30~AM9:30の一時間として、前述と同様に一分間当たりの交通流量をAM8:30~AM9:30の60分間合計した一時間当たりの交通流量を推定し比較を行った結果が、図-6と図-7である。これらの図の相関係数はそれぞれ0.669、0.716という結果が得られた。相関が高い割にモデルの推定値が過大推定となっていることがいずれの図からもわかる。これはネットワークの簡易化から交通量がゾーンを代表するリンクに集中したことが考えられ、渋滞時の推定を行ったことからこの現象がさらに如実に現れたものと考えられる。

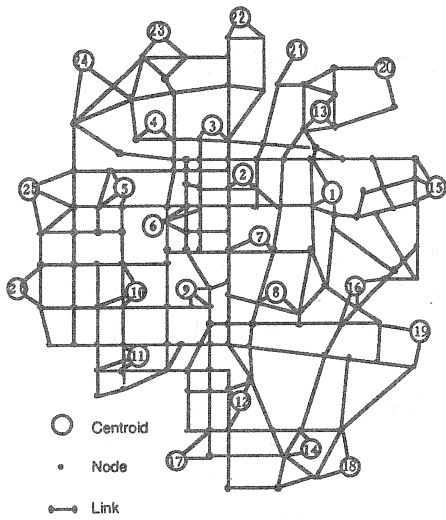


図-3 名古屋市ネットワーク

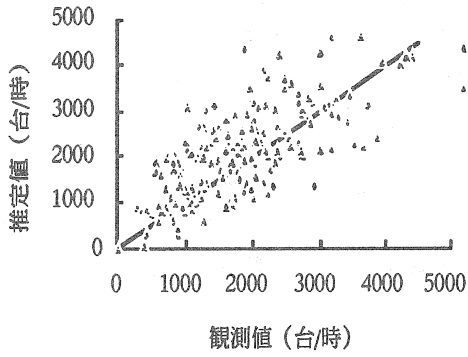


図-4 相関図 (全車種)

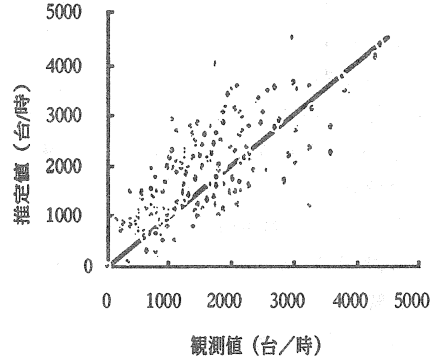


図-5 相関図 (普通車)

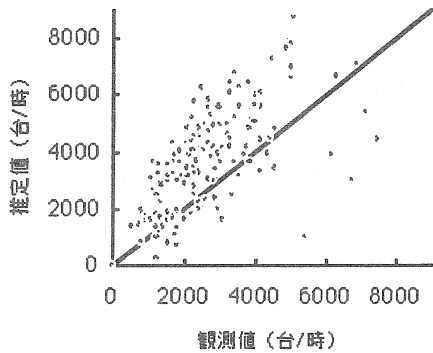


図-6 相関図 (ピーク時、全車種)

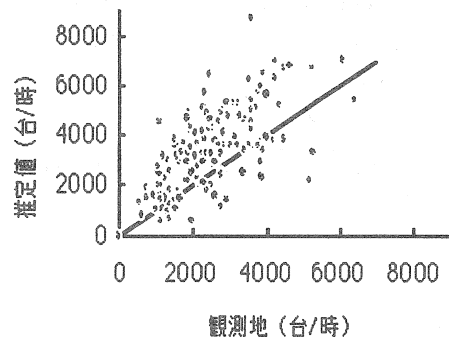


図-7 相関図 (ピーク時、普通車)