【土木計画学研究・論文集 No.8 1990年11月】

複数交通手段を考慮した観測リンク交通量に基づくＯＤ交通量推定法

ESTIMATION OF ORIGIN-DESTINATION MATRICES FROM LINK TRAFFIC COUNTS CONSIDERING THE TRAFFIC MODES

河上省吾*、広畠康裕**、陸化普***

By S.KAWAKAMI, Y.HIROBATA and H.LU

A new optimization model in the forms of combined distribution, modal split and traffic assignment is proposed. This model extends the Fisk's model by introducing the entropy with respect to the mode choice as the constraint condition. The O-D trip matrices by different traffic modes can be estimated by solving the proposed model for given traffic link counts and traffic volumes generated from each zone. From the optimal conditions of proposed model, a demand model can be derived. A test network is used to research feasibility and efficiency of the proposed model. The computational issues and results are discussed.

1. はじめに

交通需要分析や交通網計画の立案を行う際には、まず現況のＯＤ分布交通量すなわちＯＤマトリックスを把握することが不可欠である。このため、従来より、ＯＤマトリックスを求める手法が数多く開発されてきた。その内、最も基本的な手法はパーソントリップ調査等によってＯＤマトリックスを作るものである。しかしながら、このような交通調査を行うには膨大な資金・時間・労力が必要である。しかも調査データのサンプリング誤差があるため、精度の面についても問題があることが指摘されている[1)]。

* 正会員 工博 名古屋大学工学部土木工学科教授
** 正会員 工博 豊橋技術科学大学建設工学系助教授
*** 学生員 工修 名古屋大学大学院工学研究科博士課程後期課程

一方、より調査し易い観測リンク交通量からＯＤ分布交通量を求めることが新しい手法として注目されている。リンク交通量の観測はパーソントリップ調査に比べて、資金・時間・労力を要せず、調査し易いという利点がある。しかもリンク交通量は他の目的のために調査される場合も多く、データは豊富に得られる。また、特に、発展途上国においては人口の増加が著しく、経済の成長率が高いので、土地利用パターンも急速に変わり、それに伴い交通需要パターンも急激に変わる。このような場合には、たびたび交通量調査を行う必要があるが、大規模な調査を何度も実施することは資金・時間・労力がかかるので、このような発展途上国にとっては観測リンク交通量からＯＤ分布交通量を求めることは極めて重要な意味があると思われる。

さらに、観測リンク交通量は実際の交通現象を直接観測した結果であるので、きめ細かな交通対策の

実施や局所的なネットワーク改良により引き起こされる交通需要の変化を的確に反映する。したがって、観測リンク交通量に基づいてＯＤ交通需要パターンを求めることができれば、交通対策の実施や局所的なネットワーク改良などの効果の予測や評価に必要な情報を提供することも可能となる。

このような理由により、2.でやや詳しく述べるように、観測リンク交通量に基づくＯＤ分布交通量の推定方法に関して、これまでに数多くの研究がなされ、様々な手法やモデルが提案されてきている。しかしながら、それぞれ理論面あるいは実用面でいくつかの問題点を有している。そこで、本研究では、従来の研究成果を踏まえつつ、交通手段別の観測リンク交通量から交通手段別のＯＤ分布交通量を推定できる新しい手法を開発することを目指すものである。そのため、本研究では、まず、分布、分担、配分統合モデルという形で目的地選択、手段選択、経路選択を斉合的に取り扱う最適化問題を定式化する。次いで、手段別の観測リンク交通量データと各ゾーンの発生交通量とを用いてそれを解くことによって交通手段別ＯＤ分布交通量予測モデルのパラメータを求めると同時に現況の交通手段別ＯＤ分布交通量を推定するという手法を提案する。さらに、テストネットワークを用いた計算を通じてこの手法の有効性を検討する。

2. 従来の研究と本研究の特徴

観測リンク交通量からＯＤ交通量を求めるいわゆる逆解析問題には次の特徴がある。

リンク交通量とＯＤ交通量との関係を表す基本的な式は式(1.1)である。

$$V_a = \sum_i \sum_j P_{ij}^a T_{ij} \tag{1.1}$$

ここに、V_aはリンクａの交通量、T_{ij}はＯＤペアｉｊ間の交通量である。P_{ij}^aはＯＤ交通量がリンクａを利用する割合である。

式(1.1)は各リンクに対して成立しなければならない。それゆえに、式の総数はリンク数に等しい。ここで、観測リンク交通量からＯＤ交通量を求める問題は式(1.1)から$n \times n$個（ただし、nはゾーンの総数）の未知量T_{ij}を求める問題である。いま、各ゾーンの内々交通量を考慮しなくても$n \times (n-1)$個の未知量T_{ij}を求める必要がある。しかしながら、一般の研究対象地域においては、$n \times (n-1)$の数は総リンク数よりも大きいので、観測リンク交通量のみを用いて、式(1.1)から唯一のＯＤ交通量分布パターン$\{T_{ij}\}$を求めることは不可能である。これは観測リンク交通量からＯＤ交通量を求める問題（逆問題）に関する最も困難なところで、特徴であるともいえる。

この問題を解決するために、一般には次のように考える。すなわち、観測リンク交通量に含まれている情報量のみを用いれば、その情報量は十分ではないので、他の情報や制約条件などを追加すべきである。つまり、観測リンク交通量と与えた制約条件のもとで、唯一の解が求められるようにすべきである。この追加情報の与え方により、これまで提案されてきたモデルは二つに大別できる[2)]。一つはＯＤ交通量の分布パターンについての情報があらかじめ与えられると仮定する方法である。これに属するモデルとしては、前もって交通需要パターンを重力モデルなどで表わす手法などが挙げられる。

もう一つはＯＤ分布パターンを仮定せずに、エントロピ最大化とか情報量最小化などの原理により、直接に観測リンク交通量からＯＤ交通量を求めることである。いずれの場合でも逆問題については次のように考えている。

(1) 唯一の解が得られないことに対して、いくつかの可能な解の中から最もよい解を探そうとする。つまり、最も起こり易い分布パターンを求める。

(2) 求められたＯＤ交通量を再び各リンクに配分すると観測リンク交通量を再現できるという条件を満足させる。あるいは計算リンク交通量を観測リンク交通量に一致させるＯＤ交通量を求める。

さて、従来より、この逆問題に関しては様々な研究がなされており、それらの研究成果については飯田、高山らによってすでに系統的にレビューされている[3)]。ここで、モデル構築の考え方という観点から従来の研究を大別すると以下の４種類に分けられる。

まず、第１は統計的手法を使って、観測リンク交通量からＯＤ分布交通量を求める方法である。残差平方和最小化や最尤推定法などがこのような手法として挙げられる。飯田、高山らはこのようなモデルをいくつか提案している[3)]。残差平方和最小化は計

算リンク交通量と観測リンク交通量との残差平方和を最小化するようなＯＤ交通量を求める手法である。Holmら[4)]の最尤推定法は観測リンク交通量を互いに独立な確率変数と仮定し、観測リンク交通量の同時生起確率を最大化するようなＯＤ分布交通量を求めるものである。この手法の利点は起終点間に関する経路選択を内生化している点にある。しかし、実際の道路網各リンクでの交通量の分布は明らかに独立ではなく、同じ路線あるいは隣接するリンクの交通量相互には高い相関関係が認められるため、モデルの定式化において仮定した観測リンク交通量の独立性が問題として残っている[3)]。

第２の手法は数理計画モデルである。Malachy Carey[5)]の提案した数理計画モデルは次の通りである。まず、直接需要関数（Direct Demand Function）を構築し、目的関数は直接需要関数で表すＯＤ分布交通量と既知のＯＤ分布交通量との残差平方和で表される。さらに、この目的関数を最小化すれば、問題は２次計画の形式になる。もし、この問題の制約条件がＯＤ分布交通量の線形結合であれば、ＯＤ分布交通量を求めることができるという利点があるが、線形制約条件を有する２次計画問題を解く必要があるため、大規模道路網に対してはその計算量の多さが問題となる[3)]。

第３は、エントロピー最大化および情報量（Information）最小化によるモデルである[6)]。これらのモデルはエントロピー最大化か情報量最小化の概念を使って最適化問題を構築した上で、それを解くことによって、観測リンク交通量からＯＤ分布交通量を求めるものである。しかしながら、これらの方法においては経路選択率を外生的に与えなければならない。経路選択率を適切に先決することは非常に難しく[7)]そこに問題が残っている。飯田らも同様の手法を使ったモデルを提案したが、やはり、そのモデルも経路選択率が先決値として与えられなければならない[3)]。

最後の第４は、交通ネットワーク均衡理論に基づくモデルである。実際は観測リンク交通量からＯＤ交通量を求めることにおいて、経路選択率の決定は最も重要な問題である。そのため、逆問題の解決には分布と配分とを同時に考慮すべきであると言える。そこでNguyenはネットワーク均衡に基づいてモデルを提案した。しかしながら、Nguyen のモデルの目的関数はＯＤ交通量に対して凸関数ではないので唯一解が得られないことがGurら[8)]により指摘された。そして、それを解決するために、GurらはＯＤ交通量の事前情報としてターゲットマトリックスを与え、そのもとで、いくつかの可能解の中からターゲットマトリックスに近い解を選択する手法を提案した。一方、Fiskら[1)]は最適化問題による分布、配分統合モデルを定式化し、観測リンク交通量を用いて、Beckmann均衡型の制約条件に対応する常数を求め、さらに、最適化問題を解くことによってＯＤ交通量を求めるという手法を提案している。このモデルから求めた結果はWardrop均衡を満たすことに特徴がある。

一方、最近、井上[7)]はシャドウコストの概念を導入した新しいモデルを提案し、精度の高い結果を得ている。しかしながら、経路選択率の問題は依然として残っている。

以上のように、従来から数多くの研究がなされているわけであるが、これらに対して、本研究の特徴は事前情報としての経路選択率を先決するという前提条件を置くことなく、かつ多手段交通網に対応できるような実用性の高い手法の開発を目指すところにある。すなわち、本研究では以下の条件を満足するような手法の開発を目指すところに特徴がある。

(1)経路選択率を内生化し、求める交通量がユーザー均衡を満足すること

(2)複数の交通手段に対応できること

(3)入力データとしての情報量が少ないこと

(4)解の存在性と唯一性が明確であること

3.　最適化問題による分布、分担、配分統合モデルの定式化とその解の性質

3.1　モデルの定式化

モデル構築の基本的な考え方は以下の通りである。交通行動の分析を行う際、経路選択については、一般に、Wardrop原則すなわち私的交通費用の最小化原則が用いられる。しかしながら、手段選択については、人の交通費用の認識に個人差が存在するため、こうした原則は必ずしも説得力を有するものではない。さらに、目的地選択に関しては、こうした原則によっては説明できない部分が大きい。これは、人の交通費用の認識においては、手段選択、目的地選

択に関して、ばらつき（dispersion）が大きいことにも起因している。これらにおける私的交通費用の最小化原則からの交通行動の偏差についてはエントロピー関数で測ることが可能である[9]。そこで、本研究では、基本的には私的交通費用最小化原則に基づきつつ、手段選択、目的地選択については、そのばらつきを考慮する必要があるので、エントロピー最大化原理をも適用することにより、分布、分担、配分を統合した形で交通量を求めるモデルの定式化を行うものである。

本研究では、従来の研究結果を踏まえて、観測リンク交通量から手段別のＯＤ分布交通量を予測できるモデルを求めるため、Fiskのモデルを拡張して、次の最適化問題を定式化する。

$$Max \quad -\sum_i \sum_j (\sum_m \sum_r P_{ijmr}) \ln(\sum_m \sum_r P_{ijmr}) \quad (3.1)$$

$$s.t \quad \frac{1}{T}\sum_m \sum_a \int_0^{V_a^m} S_a^m(x)dx = \hat{C} \quad (3.2)$$

$$V_a^m = \sum_i \sum_j \sum_r P_{ijmr}\delta_{ijmr}^a T \quad \forall \quad a, m \quad (3.3)$$

$$\sum_j \sum_m \sum_r P_{ijmr} = \bar{P}_i \quad \forall \quad i \quad (3.4)$$

$$-\sum_i \sum_j \sum_m (\sum_r P_{ijmr}) \ln(\sum_r P_{ijmr}) \leq E_M \quad (3.5)$$

$$P_{ijmr} \geq 0 \quad \forall \quad i, j, m, r \quad (3.6)$$

ここに、i, j, m, r はそれぞれトリップの発生地、目的地、交通手段及び経路を表す。P_{ijmr}はij間の手段mの経路rの交通量の総トリップに対する割合、V_a^mは手段mのリンクaの交通量、$S_a^m(x)$は手段mのリンクａの一般化費用関数である。$\bar{P}_i$はゾーンiの発生交通量の総発生量に対する割合、Ｔはトータル交通量、E_Mは手段分担に対して与えられたエントロピーの限界値である。$\hat{C}$は観測リンク交通量から求められる値である。δ^a_{ijmr}はIncidence Matrixの要素で、もし、ｉからｊまでの交通手段ｍの経路ｒがリンクａを含めば１になり、その他の場合は０になる。

目的関数式(3.1)は交通分布に関するエントロピーを表現するもので、式(3.2)は配分に関するネットワーク均衡条件である。式(3.5)は交通手段に対するエントロピーの制約条件である。したがって、このモデルが表している交通状態は均衡制約条件と交通手段に関するエントロピーの制約条件のもとで、交通分布に関するエントロピーを最大化するような交通状態である。

いま、この最大化問題を等価な最小化問題に書き直し、さらに、そのラグランジュ（Lagrange）関数を考えると以下のようになる。

$$L = \sum_i \sum_j (\sum_m \sum_r P_{ijmr}) \ln(\sum_m \sum_r P_{ijmr})$$
$$+ \eta[\frac{1}{T}\sum_m \sum_a \int_0^{V_a^m} S_a^m(x)dx - \hat{C}]$$
$$+ \sum_i \beta_i(\bar{P}_i - \sum_j \sum_m \sum_r P_{ijmr})$$
$$+ \gamma[\sum_i \sum_j \sum_m (\sum_r P_{ijmr}) \ln(\sum_r P_{ijmr}) + E_M]$$
$$+ \sum_i \sum_j \sum_m \sum_r \alpha_{ijmr}(-P_{ijmr}) \quad (3.7)$$

ここに、η、β_i、γ、α_{ijmr}はラグランジェの未定乗数である。このとき、最適化条件は以下のように表される。

$$\frac{\partial L}{\partial P_{ijmr}} = \eta \sum_a S_a^m(V_a^m)\delta_{ijmr}^a + \beta_i(-1) +$$
$$\gamma[\ln(\sum_r P_{ijmr}) + 1] + [ln(\sum_m \sum_r P_{ijmr}) + 1]$$
$$+\alpha_{ijmr}(-1) = 0 \quad (3.8)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \eta} = \frac{1}{T}\sum_m \sum_a \int_0^{V_a^m} S_a^m(X)dx - \hat{C} = 0 \quad (3.9)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \beta_i} = \bar{P}_i - \sum_j \sum_m \sum_r P_{ijmr} = 0 \quad (3.10)$$

$$\gamma[\sum_i \sum_j \sum_m (\sum_r P_{ijmr}) \ln(\sum_r P_{ijmr}) + E_M] = 0 \quad (3.11)$$

$$P_{ijmr}\alpha_{ijmr} = 0 \quad (3.12)$$

3.2　解の存在性と唯一性

周知のように、もし、非線形計画問題における最小化問題の目的関数が狭義の凸関数で、かつすべての制約条件も凸関数であれば、問題は凸計画モデルであり、解が存在しかつ唯一である。ところで、狭義の凸関数である必要かつ十分な条件はHessianマトリックスが正定であることである。そこで、最大化問題(3.1)～(3.6)に等価な最小化問題の目的関数と

条件について、ＯＤ交通量の割合P_{ijmr}に関してのHessianマトリックスを求めることにより解の唯一性を検討する。式(3.1)の符号を変えたものをP_{ijmr}に関して二階微分すれば、

$$\frac{\partial^2 A}{\partial P_{ijmr}^2}=\frac{1}{\sum_m\sum_r P_{ijmr}}>0 \tag{3.13}$$

となる。ここに、Aは式(3.1)の符号を変えたものを表す。一方、マトリックスの他の非主対角要素の$\partial^2 A/\partial P_{ijmr}\partial P_{i'j'm'r'}$は０となる。したがって、目的関数のHessianは正定である。制約条件式(3.5)の符号を変えたものについても同じことが言える。

次に、制約条件式(3.2)についてのP_{ijmr}に関しての二階微分は次のようになる。

$$\frac{\partial^2 B}{\partial P_{ijmr}^2}=\frac{\partial S_a^m(x)}{\partial P_{ijmr}} \tag{3.14}$$

これは一般化費用関数に対する一階微分である。ここに、Bは式(3.2)を表す。同じように非主対角要素が０となる。ここで、式(3.14)は一般化費用関数の設定の仕方により異なる結果となるが、Hessianが正定となるようにその関数を設定することは可能である。ゆえに、この最適化問題は適当なリンク一般化費用関数を与えれば、解は存在しかつ唯一である。

3.3　最適性条件と交通分布モデル

最適性条件(3.8)～(3.12)から、このモデルによって求められる交通量の性質を明らかにすることができるとともに、手段別のＯＤ分布交通量の割合を表す交通分布モデルを導くことができる。

まず、最適性条件式(3.8)と(3.12)とを考える。

$P_{ijmr}>0$の場合には、式(3.12)により、α_{ijmr}が零になる。したがって、式(3.8)は式(3.15)になる。

$$\sum_a S_a^m(V_a^m)\delta_{ijmr}^a=\frac{1}{\eta}\{\beta_i-\gamma[\ln(\sum_r P_{ijmr})+1]-$$
$$[\ln(\sum_m\sum_r P_{ijmr})+1]\}\equiv C_{ijmr}=C_{ijm}\ \forall\ ijm \tag{3.15}$$

ここで、式(3.15)の中間項は経路ｒに関係しないので、同一の交通手段においては選択されるすべての経路の一般化費用が等しいということを表している。そこで、ここではその費用をC_{ijm}とおいている。

一方、もし、$P_{ijmr}=0$ならば、$C_{ijmr}\geqq C_{ijm}$となる。このことは、利用されない経路の一般化費用が利用されている経路のそれよりも大きいかあるいは等しいということを示している。

上の両ケースをまとめれば明らかなように、この統合モデルから得られる経路選択の解はWardrop第一原則（ユーザー均衡）を満足している。

式(3.8)、(3.10)、(3.12)から手段別ＯＤ交通量の割合は次のように導かれる。

$$\sum_r P_{ijmr}=\bar{P}_i\frac{\exp\{-\beta(\eta,\mu)\tilde{C}_{ij}\}\exp\{-\mu C_{ijm}\}}{\sum_j\exp\{-\beta(\eta,\mu)\tilde{C}_{ij}\sum_m\exp\{-\mu C_{ijm}\}} \tag{3.16}$$

ここに、$\mu=\eta/\gamma$、$\beta(\eta,\mu)=\dfrac{\mu^2}{\eta+\mu}$

$$\tilde{C}_{ij}=\tfrac{1}{\mu}\ln\sum_m\exp\{-\mu C_{ijm}\}$$

これは問題(3.1)～(3.6)を最適化するために、手段別ＯＤ交通量率が満足すべき条件である。

4.　観測リンク交通量に基づくモデルの解法

4.1　解法の基本的考え方

最適化問題のラグランジェ関数から目的関数を最適化するために満足すべき５つの最適性条件式が得られた。そのうち、式(3.8)、(3.10)、(3.12)の３つの式は交通分布モデル(3.16)としてまとめられた。残っている２つの式(3.9)と(3.11)はラグランジェ未定乗数γとηに関する連立方程式となっている。

このような条件のもとでのモデルの解き方は次の通りである。

まず、観測リンク交通量を用いて、制約条件式(3.2)の右辺の値$\hat{C}$を求める。$\hat{C}$が求められたなら、交通分布モデル式(3.16)と(3.9)と(3.11)とを同時に解くことによって、現状の手段別ＯＤ交通量の割合$\sum_r P_{ijmr}$と交通分布モデルのパラメータγ、ηとを斉合的に求める。

しかしながら、手段別ＯＤ交通量の割合$\sum_r P_{ijmr}$はγとηの関数であるので、この問題は解析的には解けない。そこで、繰り返し計算法に基づいて観測リンク交通量から手段別ＯＤ交通量を求めることにする。

4.2　常数$\hat{C}$の求め方

与えられたデータの種類によって、$\hat{C}$の求め方は２つに分けられる。

まず、全リンクについての観測交通量が与えられる場合には次式より観測リンク交通量から$\hat{C}$が求められる。

$$\hat{C} = \frac{1}{T}\sum_{m}\sum_{a}\int_{0}^{\bar{V}_a^m} S_a^m(x)dx \qquad (4.1)$$

一方、部分的な観測リンク交通量しか与えられない場合にはリンク特性が似ているものが同じグループになるよう観測されたリンクをＫ個のグループに分ける。そして、各グループについて式(4.2)を用いて計算する。

$$\bar{C}_k^m = \frac{1}{n_k^m}\sum_{a\in L_k^m}\int_{0}^{\bar{V}_a^m} S_a^m(x)dx \qquad (4.2)$$

ここに、$\bar{C}_k^m$は手段ｍのグループＫにおけるリンク一般化費用関数の積分の平均値である。　ただし、L_k^mは手段mのグループＫにおけるリンクの集合であり、n_k^mはL_k^mにおけるリンク数である。

次に、Ｃを次の式で求める。

$$\hat{C} = \frac{1}{T}\sum_{m}\sum_{k=1}^{K} P_k^m \bar{C}_k^m \qquad (4.3)$$

ここに、P_k^mは手段ｍのグループＫにおけるリンク数の全ネットワークリンク数に対する割合である。

なお、後述の適用例ではすべてのリンク交通量が観測されていると想定して計算を行っている。

4.3　繰り返し計算法のアルゴリズム

構築された最適化問題は次のような繰り返し計算法のアルゴリズムを用いて解くものとする。

(1) 交通手段に関するエントロピーの限界値E_Mを与える。

(2) ｋ＝１（ただし、ｋはパラメータを求めるための繰り返し回数）とおき、パラメータγとηの初期値を与える。

(3) ｎ＝１とおき、リンク交通量$V_a^{m(1)}$とＯＤ交通量の割合$\sum_r P_{ijmr}^{(1)}$の初期値を与える。

(4) 手段別の最短経路を探すことにより最短経路の費用｛$C_{ijm}^{(n)}$｝を求める。

(5) ｉｊ間の手段別ＯＤ交通量の割合$\sum_r P_{ijmr}^{(n)}$を求める。すなわち、(4)で求められた最短経路の費用｛$C_{ijm}^{(n)}$｝と交通分布モデル(3.16)とを用いて、繰り返し計算ステップnにおける仮のＯＤ交通量の割合$\sum_r Q_{ijmr}^{(n)}$を求める。

(6)交通量を配分する。すなわち、$T\sum_r Q_{ijmr}^{(n)}$を最短経路に配分した上で、繰り返し計算ステップｎにおける仮リンク交通量$W_a^{m(n)}$を求める。

(7) 次の一次元の最適化問題を解き、最適ステップ長$\alpha^{(n)}$を決定する。

$$\min_{0\leq\alpha\leq1} f\,[(1-\alpha)V^{(n)}+\alpha W^{(n)}] + g\,[(1-\alpha)P^{(n)}+\alpha Q^{(n)}]$$

ここに、ｆ(・)とｇ(・)はそれぞれラグランジェ関数(3.7)のリンク交通量に関する関数部分とＯＤ交通量に関する関数部分を表す。

(8) ステップ(7)で与えられた最適ステップ長$\alpha^{(n)}$を用いて次式でリンク交通量$V_a^{m(n)}$と手段別ＯＤ交通量の割合$\sum_r P_{ijmr}^{(n)}$を更新する。

$$V_a^{m(n+1)} = V_a^{m(n)} + \alpha^{(n)}(W_a^{m(n)} - Va^{m(n)})$$

$$P_{ijm}^{(n+1)} = P_{ijm}^{(n)} + \alpha^{(n)}(Q_{ijm}^{(n)} - P_{ijm}^{(n)})$$

(9) 収束判断：収束基準を満足すればステップ(10)にいく。さもなくば、n=n+1とおいてステップ(4)に戻る。

(10) γとηに関する連立方程式を解くことによって、パラメータγとηを更新する。誤差基準を満足しなければ、ステップ(4)に戻る。満足すれば、ステップ(11)にいく。

(11)　求められたリンク交通量が観測リンク交通量と一致すれば、計算終了。そうでなければ、E_M＝E_M'としてステップ(1)に戻る。

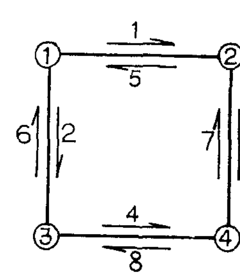
4.4　計算結果とその検討

4.4.1 入力データ

本研究のモデルを用いて計算する場合の入力のデータは次の２種類である。(1)手段別の各リンクの観測交通量、(2)各ゾーンの発生交通量である。そして、求める結果は次の２種類である。(1)現状の交通手段別ＯＤ交通量、(2)交通分布モデルのパラメータγとηである。

4.4.2　テストネットワークとリンク一般化費用関数の設定

テストネットワークは図－１に示すように４ゾーンと４リンクで構成されるものとした。各リンクは双方向道路であり、総リンク数は８になっている。



図－１テストネットワーク

今回の計算は交通手段ｍを２にした。つまり、乗用車とバスとについて

計算を行った。ただし、ここでの計算は本モデルの有効性を確認することにあるので、簡単のため、バスについては定員一人で、かつ専用バスレーンを走行するものとした。また、バス運行本数は需要に応じていくらでもあるように仮定した。すなわち、運転頻度は十分高い場合を想定している。

リンク一般化費用関数としては２つの交通手段ともに、式(4.4)に示すＢＰＲ型関数を用いた。

$$t^m = t_0^m[1+\alpha^m(\frac{V_a^m}{C_a^m})^{\beta^m}] \qquad (4.4)$$

ここに、添字mは交通手段mを表す。t^mはリンク所要時間で、t_0^mはリンクの初期所要時間で、V_a^mはリンク交通量で、C_a^mはリンク容量である。また、パラメータは河上ら[10]の分析結果を参考にして、次のように与えた。乗用車についてはα_1=0.15, β_1=4.0で、バスについてはα_2=0.045, β_2=4.0とした。

なお、バスのリンク一般化費用については、本来は停車時間をも抵抗として考慮すべきであるが、今回はモデルの有効性を検討することだけが目的であるので、やはり簡単のため、それを省略した。

4.4.3 数値計算結果

ここでの計算においては、前もって手段別のＯＤ交通量を与え、これを真値とみなすものとした。そして、これを均衡配分するとリンク交通量が得られるが、このリンク交通量をリンク交通量の観測値として与え、先のアルゴリズムを用いてモデルを解くことによって、手段別のＯＤ交通量を求めるものとした。そして、求められたＯＤ交通量と与えたＯＤ交通量を比較検討するものとした。計算結果は表4.1、4.2と表4.3、4.4に示す通りである。

表4.1 乗用車ＯＤ交通量の真値と推定値

O＼D	1	2	3	4	合計
1	0.0 0.0	384.0 380.0	425.0 417.0	333.0 347.0	1142.0 1144.0
2	392.0 385.0	0.0 0.0	294.0 328.0	339.0 347.0	1025.0 1060.0
3	390.0 394.0	258.0 291.0	0.0 0.0	390.0 364.0	1038.0 1048.0
4	304.0 315.0	339.0 332.0	383.0 365.0	0.0 0.0	1026.0 1012.0
合計	1018.0 1093.0	980.0 1003.0	1103.0 1110.0	1062.0 1058.0	4231.0 4264.0

上段：真値、下段：推定値

表4.2 バスＯＤ交通量の真値と推定値

O＼D	1	2	3	4	合計
1	0.0 0.0	164.0 157.0	165.0 166.0	58.0 62.4	386.0 385.0
2	168.0 144.0	0.0 0.0	73.0 72.0	216.0 205.0	456.0 422.0
3	159.0 144.0	62.0 75.0	0.0 0.0	159.0 169.0	379.0 387.0
4	53.0 57.0	186.0 191.0	164.0 169.0	0.0 0.0	403.0 418.0
合計	379.0 344.0	412.0 422.0	401.0 408.0	433.0 436.0	1624.0 1612.0

上段：真値、下段：推定値

表4.1と4.2に示すＯＤ表は与えられた発生交通量の保存条件及びトータル交通量の制約条件をほぼ満足している。また、ＯＤ交通量の真値と推定値との相関係数はそれぞれｒ＝0.96,0.98であり、２つの交通手段とも真値にほぼ一致する推定値が得られていると言える。若干のズレがあるが、それは一般化費用関数の定式化において種種考えられる影響要因が十分に考慮されていないことによると考えられる。

ここでのモデルを解く際の繰り返し計算は計算リンク交通量を観測リンク交通量に接近させながらＯＤ交通量を求める方法であるが、ここで求められたＯＤ交通量に対応する計算リンク交通量と観測リンク交通量の近似程度は次の表4.3と4.4に示すとおりである。

表4.3 乗用車リンク交通量の観測値と計算値

リンク番号	観測値	計算値
1	662.0	552.0
2	684.0	675.0
3	937.0	764.0
4	721.0	713.0
5	646.0	649.0
6	512.0	659.0
7	894.0	671.0
8	728.0	759.0

表4.4　バスリンク交通量の観測値と計算値

リンク番号	観測値	計算値
1	192.0	157.0
2	195.0	229.0
3	316.0	278.0
4	251.0	306.0
5	192.0	147.0
6	187.0	198.0
7	272.0	268.0
8	265.0	296.0

表4.3と4.4によると観測値と計算値の間に差があるが、配分交通量の予測結果としては妥当な値といってよいであろう。なお、同時に求められたモデルのパラメータはそれぞれ$\gamma=0.62$, $\eta=0.44$であった。また、E_Mの値は0.1であった。ただし、本適用例は仮想のケースであるため、これらの値の妥当性については論じることはできない。

5.　おわりに

本論文では、まず、従来より開発されてきた観測リンク交通量に基づくＯＤ分布交通量の推計手法を簡単にまとめた。次に、従来の研究成果を踏まえ、交通実態をよく表現できると考えられる新しい交通需要予測モデルを提案した。すなわち、本研究では分布、分担、配分統合モデルという形で目的地選択、手段選択、経路選択を斉合的に扱える最適化問題を定式化した。そして、モデルから手段別の分布交通量の割合を与える交通分布モデルを導いた。また、このモデルの経路選択解はユーザー均衡条件を満たすことを示した。さらに、観測リンク交通量データを用いて、このモデルのパラメータと手段別ＯＤ交通量率を同時に推定する手法を提案した。本手法の特徴としては、逆問題に関して、交通手段を考慮している点および求める経路選択解がユーザー均衡を満足する点があげられる。最後に、テストネットワークに本手法を適用し、観測リンク交通量から手段別のＯＤ交通量を求めた。この結果、提案した手法に基づいて観測リンク交通量から手段別ＯＤ交通量を理論的に求めることが可能であることを示した。

しかしながら、今回は簡単なテストネットワークへの適用にとどまっており、実用化のためには、都市レベルの実際交通網に適用し、検討する必要がある。また、手段別のリンク一般化費用関数の定式化については実際調査も含めた検討が必要である。さらに、観測すべきリンク数に関する検討を行う必要もある。これらの課題が解決されれば、本方法を実際の問題へ適用できるようになるといえる。

最後に、本研究をまとめるに当り、様々な面で貴重なご指摘、ご意見をいただいた林良嗣助教授、磯部友彦助手に深く感謝いたします。

参考文献

1)Fisk,C.S.& Boyce,D.E.:A Note on Trip Matrix Estimation from Link Traffic Count Data,Trans. Res 17B,pp.245-250,1983.
2)Tamin,O.Z.& Willumsen,L.G.:Transport Demand Model Estimation from Traffi Counts,Transportation 16,pp.3-26,1989
3)飯田・高山：リンクフローによるＯＤ交通量推計モデル，第１８回土木計画学講習会テキスト，1987
4)Holm,J.,Jensen,T. & Nielson,S.K. et al:Calibrating Traffic Models on Traffic Census Results only ,Traffic Engineering and Control, Vol.17,No.4,pp.137-140,1976
5)Carey,Malachy.,Hhendrickson,Chris.& Siddharthan,Krishnaswami.: A method for Direct Estimation of Origin/Destination Trip Matrices,Transportation Science,Vol.15,No.1,pp.32-49,1981.
6) Van Zuylen,Henk,J., Willumsen Luis G.: The Most Likely Trip Matrix Estimated from Traffic Counts,Trans.Res-B,Vol.14B,pp.281-293,1980.
7)井上博司：シャドウ．コスト概念による観測交通量からのＯＤ交通量推計、土木学会論文集，第４０１号／Ⅳ－１０，pp.41-50,1989
8) Leblanc,Larry.J., Farhangian,K.: Selection of a Trip Table Which Reproduces ObservedLink Flows,Trans.Res,-B.Vol.16B,No.2,pp.83-89,1982.
9)Boyce,D.E. et al:Implimentation and Computational Issues for Combined Models of Location, Destination, Mode,and Route choice,Environment and Planning A,Volume 15,pp.1219-1230,1983.
10)河上省吾・広畠康裕・徐志敏：大型車と普通車を分離した車種別均衡交通量配分法に関する検討、土木計画学研究．論文集，No.7,pp.243-250,1989