

利用者均衡配分の発展的適用に向けて

Expansive Application of User Equilibrium Assignment Techniques

毛利 雄一* 井上 紳一*

By Yuichi MOHRI and Shinichi INOUE

1. はじめに

道路交通需要予測については、道路交通センサスやパーソントリップ調査等の実施に伴い、データの蓄積も進み、四段階推計法を中心として様々な方法論が提案され、我が国の道路整備計画に適用されてきた。

しかし、近年の道路事業に対する様々な批判に見られるように、道路整備計画の考え方や事業実施に向けての客観性や透明性を持った説明がより強く求められるようになってきている。特に道路整備計画の重要な基礎的情報を提供する交通需要予測については、これまでも増して予測方法に対する論理性が求められている。これらの背景を踏まえ、平成15年に土木学会土木計画学研究委員会から「道路交通需要予測の理論と適用 第I編～利用者均衡配分の適用に向けて～」¹⁾が出版された。筆者らを含め、IBSは、上記の執筆とそれに対する実証的な分析に携わってきた。本稿では、利用者均衡配分の適用について、1) 何故、利用者均衡配分を適用するのか、2) 今後の交通政策の分析ツールとして利用者均衡配分をどのように発展的な適用ができるか、という2点から整理を試みる。

2. 利用者均衡配分の基本的な考え方

(1) 交通量推計手法改善の必要性

効率的で透明性をもった道路政策を進めるために、近年、道路投資の評価がますます重要となってきている。道路投資の評価にとって重要な項目である「道路整備に伴う利用者の便益」を計測するためには、該当する道路整備前後の交通量と旅行時間の両方を精度高く推計する必要がある。そのため、道路整備の評価を適切に行なえる交通量推計手法に改善していくことが必要となってきている。

また、これまでの道路政策は、「供給量の拡充」を最重要課題として、交通量の予測を主眼に推計手法が用いられてきた。しかし現在は、マルチモーダルやTDM、ITSといった道路整備だけに依らないソフト施策の評価が重要になってきている。これら施策の検討を行うためには、交通量の指標だけではなく、サービスレベルを表現する指標（旅行時間や旅行速度）の算出が必要となる。また、日単位を対象とした交通需要だけではなく、ピーク時やオフピーク時といった時間単位を対象とした交通需要の推計が必要となってきている。

このような背景を踏まえ、現在の交通量推計については、次の2つの課題に対応していくことが求められている。

- ① 効率的で透明性を持った道路政策の検討に対応できるように交通量推計手法を改善すること
 - ② 政策領域の展開、新しい政策手法の検討に対応できるように交通量推計手法を改善すること
- これら課題に対応していくうえで、利用者均衡配分（UE：User Equilibrium assignment）は、配分に関する現在までに開発された手法の中で、最も優れた手法の一つであると言える。

(2) 分割配分法の特徴

これまで実務で用いられてきた分割配分法は、その時々活用可能な技術やコンピュータをはじめとする資源の制約の中で、長年に渡る実務での実績を積み、適宜改良を加えられて、信頼できる手法として確立されてきたものである。このような背景で確立されてきた分割配分法には、以下に示すような特徴と課題がある。

- ① 計算方法が簡単でわかりやすい

分割配分法は、分割したOD表を順番に道路ネットワークに負荷する方法であり、その都度、

* 経済社会研究室

最短経路を探索してその経路に交通量を流していく、わかりやすい計算方法である。

② 分割回数や分割比率の設定根拠が明確でない
分割配分法による予測されるリンク別配分交通量は、分割回数や分割比率の違いによって大きく変化することが知られている。これは、分割回数や分割比率の違いが道路規格の決定に大きく影響を及ぼす可能性のあることを意味している。分割回数や分割比率は、実務上、経験的に設定されており、その設定根拠を理論的、客観的に説明することは難しい。

③ 実務で用いる QV 式は旅行時間を適切に推計できない可能性がある。

これまで道路のパフォーマンスを表現するために設定してきた QV 式（交通量と速度の関係式）は、道路の交通量を精度高く予測するために設定されてきた経緯があるが、道路投資の便益評価やきめ細かな交通政策の評価を行ううえで重要となるゾーン間旅行時間やリンクの旅行時間を予測するためには、必ずしも適さない可能性がある。

④ 計算結果の吟味が困難な場合がある

分割配分法は、分割計算の 1 回目や 2 回目ではあまり道路容量制約が効かないため、規格の高くない道路が最短経路に選ばれる可能性があり、バイパス等の規格の高い道路整備による交通量の変化を適切に予測できない場合がある。

(3) 利用者均衡配分法の特徴

分割配分法は上記の特徴や課題があるのに対し、利用者均衡配分法には次のような特徴がある。

- ① Wardrop の第一原則（等時間原則）に厳密に従っており、インプット条件などを同一とすれば、誰が行っても同じ答えを得ることができる。
- ② 分割回数や分割比率等の恣意的なパラメータがなく、理論的に説明ができる。
- ③ 分割配分法は主に交通量の再現性に主眼を置いた手法であるのに対し、利用者均衡配分法は、設計要素によって定まる道路特性を反映した適切なリンクパフォーマンス関数（交通量と旅行時間の関係式）を設定することにより、路線の交通量と旅行時間の両方を精度高く推計することができる。
- ④ 分割配分で実務上算出してきた各種アウトプット項目（リンク交通量、経路交通量、リンク交

通量の OD 内訳、交差点方向別交通量など）を、利用者均衡配分でも同様に算出可能である。

- ⑤ 新規整備路線のありなしで配分結果を比較した場合に、新たな道路整備の影響をあまり受けない既存道路の配分交通量が大きく変化してしまうような問題が生じにくい。
- ⑥ 利用者均衡の概念に基づいているため、配分以外の段階における需要変動を考慮した統合型モデル等、多様な政策の評価に対応したモデルへの拡張性が高い。

3. 利用者均衡配分の拡張に向けて

昨今、道路整備をはじめとする様々な交通施策の評価を、より適切な手法を用いて行なうことがより一層必要となってきた。先に示したように、利用者均衡配分モデルは、このような評価のニーズに対応して理論的な透明性、整合性を保ちつつ、様々な発展モデルへの拡張が比較的容易なモデルである。

ここでは、近年の社会ニーズを考慮して、実務上の要請が高いと考えられる利用者均衡配分モデルの発展モデルを紹介する。具体的には、「確率的利用者均衡配分モデル」、「マルチクラス配分モデル」、「需要変動型予測手法」、「時間帯別均衡配分モデル」の 4 つのモデルについて、モデルの考え方、適用場面、適用上の課題等を整理する。

(1) 確率的利用者均衡配分

先に示した確定的な利用者均衡配分では、全ての車は少しでも旅行時間の短い経路を利用しようとする仮定すると同時に、ドライバーが各経路の旅行時間を完全に知っている上で経路を選択しているという仮定をおいていた。このため、均衡状態における厳密な最短経路以外には交通量が配分されなかった。しかし、ドライバーが知っている経路別旅行時間が不完全（正確でない）であり、旅行時間以外の要因も考慮して経路を選んでいると仮定することはより現実的である。そのような前提を置いた配分モデルが確率的利用者均衡配分である。すなわち、確率的利用者均衡配分は、「ドライバーが認識している各経路の旅行時間は確定的な値ではなく、確率的に（ランダムに）変動する誤差を含んでいる」と考えるモデルである。

確率的利用者均衡配分は、ドライバーが認識して

いる旅行時間に誤差項を導入するという考え方から、ランダム効用理論に基づく離散選択モデルをドライバーの経路選択に適用したものが確率的利用者均衡配分であると考えられる。

確率的利用者均衡配分モデルでは、最短経路 A より旅行時間が多少長い経路 B があっても、ドライバーによっては経路 B の方が旅行時間は短いと認識し、B を選ぶことが起こり得る。このため、最短経路以外に経路にもいくらかの交通量が流れることになる。(図 - 1 参照。) 当然、ある経路の旅行時間が最短経路に比べて長ければ長いほど、その経路に配分される交通量も少なくなり、最短経路とわずかしら旅行時間が変わらない経路には、最短経路と大差ない交通量が流れることになる。

また、確定的な利用者均衡配分では経路交通量が一意に決まらないという特性があるが、確率的利用者均衡配分では、経路旅行時間に対応して経路選択確率が一意に決まることから、経路交通量も一意に決まる。

確率的利用者均衡配分モデルは、確定的利用者均衡配分モデルを包含するものであり、実務での適用性は利用者均衡配分モデルと同様、非常に高いモデルである。特に、以下のような場合において有効である。

①対象地域あるいは対象道路網の経路選択行動に

おいて、所要時間(料金も含めた一般化費用でもよい)以外の要因が大きく影響していると想定される場合

②より厳密な現況再現性が求められるような場合

経路選択モデルに使用される分散パラメータ θ を現況に合うように設定することができ、確定的利用者均衡配分に比べ推計精度が高いことが知られている。

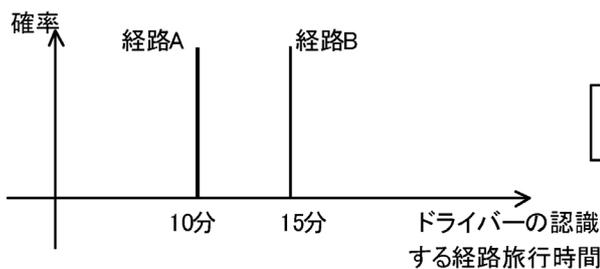
③不完全情報から完全情報(あるいはその逆)に周辺環境が変化した影響を把握したい場合

例えば、ITS の進展の度合いによりドライバーの認知する経路や所要時間の情報は増加等、情報化の進展による交通状況の影響を把握する場合は考えられる。

④ゾーン間の経路交通量を一意に推計したい場合

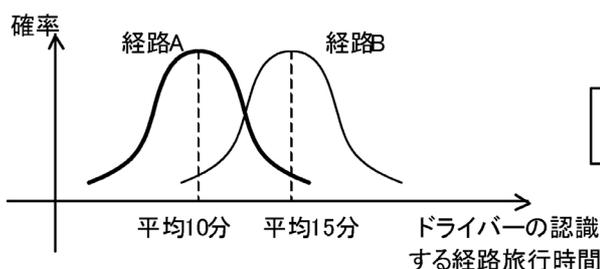
実務での適用上の課題としては、経路選択モデルに使用される分散パラメータ θ の値をどのように設定するかが挙げられる。その設定方法については、現段階としては、いくつかの θ を用いて配分計算を行い、交通量の再現性が最も高くなるように θ を決める方法が考えられる。ただし、理論的にも実証的にも十分な研究が蓄積されていない状況であり、適用にあたっては注意が必要である(θ の設定方法については、溝上・松井(1992)等で分析している)。

【確定的な利用者均衡配分】



全てのドライバーは正確な経路旅行時間を知っており、経路Bよりも経路Aの方が速いと正しく判断する。したがって、全員が経路Aを選ぶ。

【確率的利用者均衡配分】



ドライバーは正確な経路旅行時間を知らないため、経路Aよりも経路Bの方が速いと判断することもある。経路Aを選ぶドライバーの方が多いが、経路Bを選ぶドライバーもいる。その比率は、旅行時間の平均値だけでなく誤差項の分布形状に依る。

図 - 1 確率的利用者均衡配分の考え方

(2) マルチクラス配分モデル

従来から実務で用いられている容量制約付分割配分法や、先に示した利用者均衡配分は、1つのOD表を用いて配分計算を行っており、例えば車種毎の行動規範は全て同じとする考え方である。そのため車種や交通目的、ドライバーの属性など、自動車の属性の違いを考慮した施策の評価を厳密に行なうことはできない。

しかし、有料道路は車種毎に料金が違うこと、交通目的毎に時間価値が違うこと、ドライバー毎に道路の認知度が違うことなどが影響し、乗用車と貨物車、業務目的の交通と私事目的の交通、地域の道路に詳しい人とそうでない人など、ドライバーや自動車の属性によって経路選択行動規範に違いがあると考えられる。

マルチクラス配分は、そのようなドライバーや自動車の属性の違いを明示的に考慮して配分交通量を計算する配分手法である。自動車の属性の違いを明示的に考慮した配分計算が可能であるため、車種別の料金施策の評価（ピークロードプライシングや環境ロードプライシングなど各種プライシング施策）や、車種や交通目的による経路選択の違い（時間価値や料金の違い）を明示的に考慮することができる。また、車種別の流入規制や走行規制などのきめ細かなソフト施策への適用が可能である。

マルチクラス配分モデルは、Yang（1998⁹⁾、朝倉（2000⁹⁾、溝上・本田（2000⁹⁾の研究があるが、実務にて適用した例はまだない。今後は実務での蓄積を行い、実務での適用に際しての問題、課題を洗い出し、それらを解決していく必要がある。

(3) 需要変動型予測手法

従来から用いられている四段階推計法では、分布交通量の予測や機関分担率の予測に用いる道路サービス水準を表す指標として、ゾーン間の自動車所要時間を用いることが多い。この場合、各段階のモデルのサービスレベル変数は独立に取り扱われており、配分計算に先立って何からの方法で道路サービス水準を仮定した上で、まずOD交通需要を予測し、このOD交通需要を所与として配分計算を行なっている。このため、例えば各段階の交通量を予測する際に用いられるゾーン間旅行時間と、配分交通量の算定後のゾーン間旅行時間は必ずしも一致しない（図-2参照）。この方法は、配分結果如何によってOD

交通需要が影響を受けることがないことから、「需要固定型（FD：Fixed Demand）」予測手法と呼ばれる。

一方、理論上の配分交通量は、その配分交通量と道路サービス水準は交通需要と道路供給のバランスの結果として決まるものであり、元の交通機関のOD交通需要も交通サービス水準に依存して変化することになる。この考え方に基づくのが「需要変動型（VD：Variable Demand）」予測手法である。需要変動型予測手法では、ネットワークを流れるフロー及びサービスレベル（リンク交通量、リンク旅行時間）と、OD間のフロー及びサービスレベル（OD交通量、ゾーン間旅行時間）を、予測手法全体として整合をとりながら求めることが可能となる。

需要変動型予測手法には「統合型配分モデル」を用いることが適切である。配分交通量を算定するための統合型配分モデルは利用者均衡配分モデルの拡張として考えることができる。このモデルは配分モデルと他の各段階の交通量モデルの一部あるいは全体を統合させた数理最適化問題を定式化させ、各段階の交通量等を一意に算出する手法である。

需要変動型予測手法は、交通量及び交通サービス変数（旅行時間など）について段階間の整合性を確保し、道路整備をはじめとする交通施策の影響をより適切に分析、評価できる予測手法である。この手法は、近年、道路交通需要予測手法について客観性、論理性、透明性がより一層求められる中で、四段階推計法における各段階での交通サービス変数の不整合が解消できるため、分布や分担に大きく影響を及ぼすような広域の道路網計画などにおいて適用する方向で検討を進めることが望ましい。

需要変動型予測手法の適用上の課題は次の通りである。

統合型配分モデルは、各段階のサービスレベルを整合させるための、理論的に最も適当な方法である。しかし、手法の理論とアルゴリズムは完成し、数多くの研究実績があるものの、実務にて適用した例はほとんどないのが現状である。その理由はいくつかあると思われるが、均衡理論自体が実務者に普及しなかったことなどが挙げられる。今や計算処理能力の大幅な向上やパッケージソフトが開発されており、実務への適用は昔ほど困難でないと考えられる。

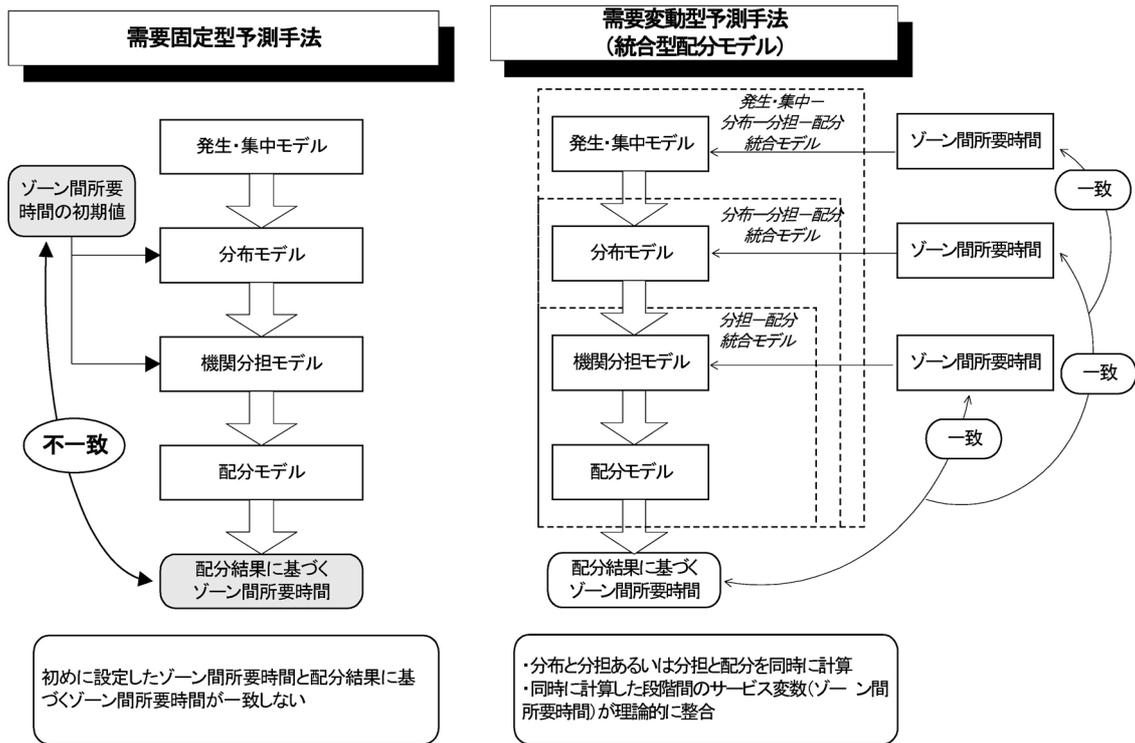


図 - 2 需要固定型予測手法と需要変動型予測手法の概念図

(4) 時間帯別均衡配分モデル

従来わが国の実務において適用されてきている日単位の交通量配分モデルは、「日配分」とも呼ばれ、一日の交通流を定常状態にあるとして捉え、平均的な日交通量を求める手法である。

しかしながら、実際の交通現象においては、朝夕のピーク時間帯と日中・夜間との交通量変動、あるいは時間帯による交通流の方向性など考慮した場合、交通流の定常性を日単位で仮定することは必ずしも適切であるとはいえない。また、リンクパフォーマンス関数で利用される日交通容量は、例えば、時間交通容量に日換算係数を乗ずるなどして求められる。しかし、時間交通容量が道路構造・沿道状況などに基づいた合理的な設定が容易であるのに対して、日換算係数の設定は実績値による経験式に基づくため、時間的・空間的な適用に際して理論的な保証がされない。一方、時間帯別の料金施策等、交通量の時間変動を考慮したモデルの実務への適用が必要となってきた。

交通量の時間帯変動を考慮できる、現実的な配分手法としては、「時間帯別均衡配分」が開発されている。これは、一日を数時間程度ごとに分割（例えば1時間帯×24）した上で、各時間帯の中では定常

状態にあるものと仮定して、時間帯別の配分を行なう方法である。

時間帯別配分では、一日の連続した時間の中での交通流を1時間程度の時間単位で機械的に区切って扱うため、各時間帯の終端時刻において残留交通量が発生する場合がある。これは現在の時間帯はもちろん、次の時間帯以降の配分結果にまで影響を及ぼすことを意味する。このような複数の時間帯に影響を与える残留交通量を交通流の保存条件を維持しながら、効率よく処理しようとする方法論が確立している。具体的方法としては、リンク修正法やOD修正法が提案されている⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾。

また、将来のピーク時間帯の交通需要と道路容量のバランスから道路計画を検討する場合には、ピーク時間帯のみを対象として交通量を推計する方法がある。欧米では、従来から時間単位の交通容量を設定し、ピーク時間帯均衡配分を実施している。時間帯毎の将来需要を推計することは困難なことから、将来のマクロなピーク需給バランスを検討する方法として有効は方法一つである。

昨今、時差出勤やロードプライシングなどのTDM施策の重要性が増してきている中で、特定時間帯を対象とした交通施策を評価できる交通需要予

測モデルの必要性が高まりつつある。時間帯別均衡配分モデルは、一日をいくつかの時間帯に区切り、交通量の時間変動を考慮しつつ、それぞれの時間帯内で配分計算を行なうモデルであり、そのようなニーズに対応できるモデルである。

また、時間帯別均衡配分モデルは、将来の道路計画を将来のピーク時間帯の交通需要と道路容量のバランスから検討する場合にも有効である。例えば、10年後やそれ以上の将来時点を対象として、交通施策や道路整備を評価する場合には、将来時点のピーク時間帯のOD表を推計し、その時間帯だけを対象とした通常の利用者均衡配分（リンク交通容量は時間可能交通容量）を適用すれば良い。欧米では一般的に実務で行われている方法である。

なお、交通需要が時々刻々と変化するのに応じて時々刻々と変化するネットワーク上の交通流を扱う配分方法として「動的配分モデル」がある。しかし、真に動的に変化するOD表を配分する解法は未だ開発途上にある。また、動的ネットワークシミュレーションによって配分交通量を求める方法の研究が進み、実務への適用も進められつつある。動的ネットワークシミュレーションと、時間帯別均衡配分モデルの使い分けについては、求められる精度や対象ネットワークとその細かさなどによって選択されることとなり、今後実務での適用を踏まえて整理が必要な点である。

参考文献

- 1) 土木学会：道路交通需要予測の理論と適用 第1編，2003
- 2) 溝上章志・松井寛：Fisk型確率的均衡配分モデルの未知パラメータ θ の推定に関する一手法，交通工学，No 28，pp 21 - 29，1992
- 3) Yang, H.: Multiple Equilibrium Behaviors and Advanced Traveler Information Systems with Endogenous Market Penetration, Trans. Res., Vol. 32B, No. 3, pp. 205 - 218, 1998
- 4) 朝倉康夫：利用者の属性に応じたサービスと需要予測，高速道路と自動車，第43巻，第6号，pp. 11 - 13，2000
- 5) 溝上章志・本田秀太：多種流確率均衡に基づいたVICS情報の利用率予測と便益評価，土木計画学研究・講演集，No 23(2)，pp. 759 - 762，2000
- 6) 赤松隆・牧野幸雄・高橋栄行：待ち行列進展と時間帯別OD需要を内生化した準動的交通均衡配分，土木計画学研究・講演集，No 20(2)，pp. 271 - 278，1997
- 7) 藤田素弘・松井寛・溝上章志：時間帯別交通量配分モデルの開発と実用化に関する研究，土木学会論文集，No 389 / IV - 8，pp. 111 - 119，1988
- 8) 藤田素弘・山本幸司・松井寛：渋滞を考慮した時間帯別交通量配分モデルの開発，土木学会論文集，No 407 / IV - 11，pp. 129 - 138，1989
- 9) 宮城俊彦・牧村和彦：時間帯別交通配分手法に関する研究，交通工学，Vol 26，No 2，pp. 17 - 27，1991