

IV-64 発生・集中段階の需要変動を内生化した最適道路網計画モデル

京都大学工学部 正 員 佐佐木 綱

京都大学工学部 正 員 朝倉 康夫

京都大学大学院 学生員 寺本 泰久

1. はじめに

著者らは既に、OD需要の変動を内生化した最適交通網計画問題が、需要固定型の場合の問題を拡張することによって定式化できることを示している。¹⁾この問題は、発生・集中量により制約された需要変動型の利用者均衡問題を制約条件として持つため、ODフローを内生的に決定することはできるが、発生・集中量を外生的に与える必要があった。したがって、与えられた土地利用に整合した交通ネットワークを考えるためには、土地利用を一旦発生・集中量に変換し、それを下位問題の制約条件として最適ネットワーク問題に反映させる必要があった。

しかし、土地利用と交通網の整合を議論するためには、土地利用変数をより直接的な形で、ネットワーク計画問題に取り込んでおくことが望ましい。また、発生・集中レベルの交通量も、本来は、ネットワークのサービスレベルによって影響されるから、それを固定的に扱うことにも問題がないわけではない。そこで、本稿では、従来の議論を踏まえて、発生・集中段階の需要の変動を考慮した場合へと問題の拡張を行なった結果について報告する。

2. 問題の定式化

交通サービス供給者(交通網計画者)とネットワーク利用者の基本的な行動規範は、発生・集中段階の需要が変動する場合においても需要を固定的に扱う場合と変わらないと仮定する。すなわち、計画者は与えられた投資額の制約の下で、ネットワーク全体の総走行費用を最小にするように各リンクの容量を決定しようとする。一方、ネットワーク利用者は、自己の走行時間が最小となるように交通選択を行なう。その結果、ネットワークフローは利用者均衡条件を満足する。このような条件下では、発生・集中量およびOD交通量の決定を内生化した最適交通網計画問題は、OD固定型のネットワーク形成問題の下位問題である等時間配分問題を発生・集中制約のない需要変動型のネットワーク均衡問題により置換えた問題として定式化できる。

$$\sum_a S_a(V_a, Z_a) V_a \rightarrow \text{minimize} \quad \cdots (1)$$

s. t.

$$\sum_a G_a(Z_a) \leq G \quad \cdots (2)$$

$$Z_a \geq 0 \quad \text{for all } a \in A \quad \cdots (3)$$

$$\sum_a \int_0^{V_a} S_a(x, Z_a) dx - \sum_i \sum_j \int_0^{T_{ij}} D_{ij}^{-1}(y) dy \rightarrow \text{minimize} \quad \cdots (4)$$

s. t.

$$\sum_m h_{mij} = T_{ij} \quad \text{for all } i, j \in I \quad \cdots (5)$$

$$V_a = \sum_m \sum_i \sum_j d_{amij} h_{mij} \quad \text{for all } a \in A \quad \cdots (6)$$

$$h_{mij} \geq 0 \quad \text{for all } m \in M_{ij}, i, j \in I \quad \cdots (7)$$

計画者の目的である総走行時間の最小化は式(1)で示され、式(2)は投資費用の制約である。式(3)は、計画者の意志決定変数であるリンク容量の非負条件式である。利用者の行動は(4)～(7)式で与えられる。この問題では、発生・集中交通量を明示的に取り扱っていない。発生・集中量は、解として得られたOD交通量をそれぞれのトリップエンドにおいて集計することにより、結果的に得られることになる。

発生・集中段階の需要を内生化することにより、与えられた土地利用パターンに整合した最適交通網を求めることができる。土地利用パターンは利用者均衡問題の中で考慮されることになるが、そのためには土地利用指標を需要関数の中に発生・集中パラメータとして組み入れるのが最も容易である。最もポピュラーな指数関数型の需要関数を用いるとき、土地利用指標を組み込んだODペア間の需要関数 $D_{ij}(t_{ij})$ は、

$$D_{ij}(t_{ij}) = A_i B_j \exp(-\gamma t_{ij}) \quad \cdots (8)$$

 A_i : ノード i の発生パラメータ B_j : ノード j の集中パラメータ t_{ij} : ODペア間の交通コスト(所要時間) γ : パラメータ

と書くことができる。 A_i および B_j を、土地利用指標そのものとするにより、需要関数に土地利用指標を直接取り込むことができる。いくつかの土地利用計画案に整合した交通網を議論するときには、土地利用パターンに応じて A_i および B_j の値を設定し、最適ネットワーク問題を順次解いていくことになる。

また、(8) 式により与える需要関数の場合は、交通需要の総生成量に制約を設けていないので、需要の弾力性が大きいときは、非現実的な交通フローが生じることになる。これを回避するひとつの方法は、交通需要の生成量に関する制約

$$\sum_i \sum_j T_{ij} = T \quad (T: \text{生成トリップ数}) \cdots (9)$$

を設定しておくことである。一日の交通の生成量にはトリップメーカーの社会・経済属性などによる上限が存在するから、それを制約条件としてあらかじめ設定しておくのである。

3. 数値計算例

ノード数16個、リンク数48本の仮想ネットワークを用いて数値計算を実行した。この計算例では、個々のリンク容量がすべて異なる場合を対象とするのではなく、任意の複数リンクの集合をひとつの路線として与え、路線の容量を決定変数とした。その結果、路線に含まれるリンクの容量は、すべて等しく設定される。これは、実際の道路計画への適用において、一定の路線の容量は等しいとしたほうが現実的であると考えたからである。

このような変更による計算過程の修正はリンクが路線に含まれるか否かを情報として与えるだけでよく、リンク容量を決定変数とするよりも決定変数の数は少なくてよいことになる。問題の解法としては、厳密解法や上位問題と下位問題の繰り返しによるヒューリスティックな方法のどちらをも使うことができるが、決定変数を路線容量としたことによりヒューリスティックな方法では上位問題を解くための分解法が使えないので、Frank-Wolfe 法により問題を解くアルゴリズムを用いる必要がある。

下位問題に生成トリップの制約がない場合と、それを設けた場合のそれぞれについて計算した。解法は、どちらも繰り返し法によるものである。

i) 生成トリップ数の制約がない場合

総建設費用を3通りに変化させて計算したところ、

建設費用の大小にかかわらず、決定変数はそれぞれ一定の値に収束することがわかった。各イテレーションごとの目的関数の値の変化をみると、目的関数は収束する傾向にあるものの、投資額が大きいほど総走行時間が大きいという結果になっていることがわかった。これは、投資額が大きいほどトリップ生成量が多くなったためである。1トリップあたりの走行時間で評価してもその値は建設費用によらずほぼ一定であり、必ずしも正の投資効果が生じているとはいえない。需要の弾力性が大きいとき、投資を行なっても混雑が解消されないことも生じることをこの例は示している。

ii) 生成トリップ数の制約を導入した場合

路線容量は、生成トリップ数の制約を導入しない場合と同様に、イテレーションを重ねるごとに一定の値に収束した。また、目的関数である総走行時間の値の変化をみると、繰り返し回数ごとに総走行時間は、次第に収束していくことがわかった。また、建設投資額を大きくするにつれて、総走行時間の値は小さくなっており、期待されたような正の投資効果が得られていることが確認できた。

4. おわりに

本稿では、発生・集中段階の需要変動を考慮した最適道路網計画問題が、需要変動型のネットワーク均衡問題を制約条件としてもつ2レベル計画問題として定式化できることを示した。数値計算の結果をみると、発生・集中交通量の変動を考慮する場合には、生成トリップ数の制約を下位問題に含めておくほうが結果の解釈の上でも有効であると考えられる。この場合、生成トリップ数は、将来の人口フレームや、自家用車保有率などの数値に基づいて土地利用指標とは別個に予測しておかなければならない。

なお、実際規模の道路ネットワークを対象にして数値計算を行なったところ、発生・集中制約を取り除いても需要変動型ネットワーク均衡問題の現況再現性は良好であり、最適道路網計画モデルも大概妥当な挙動を示すことが確認されている。²⁾

参考文献

- 1) 朝倉(1986): 分布・配分同時決定問題を制約条件としてもつ最適道路網形成問題, 土木計画学研究講演集, No. 8, pp. 315-322
- 2) 佐佐木・朝倉・寺本(1987): 発生・集中段階の需要変動を内包した最適道路網計画モデル, JSCE関西支部講演集 4-42-1, 2