

公共交通指向型開発のための立地誘導モデル*

*A Study on Location Control Model for Transit Oriented Development**

金子 雄一郎 ※※・福田 敦 ※※※・榛澤 芳雄 ※※※※

By Yuichiro KANEKO ※※・Atsushi FUKUDA ※※※・Yoshio HANZAWA ※※※※

1. はじめに

高齢社会の到来や地球環境問題への対応を考えると、公共交通機関の役割は、今後重要度を増してくると思われる。中でも、鉄道が成立しない都市の場合、唯一の公共交通機関であるバスが、その役割を担うことになる。しかしながら、1960年代以降のモータリゼーションの進展により、都市における市街地密度は低下し、バスの運行は非効率になっている。この利用者減少の直接的な原因には、バスのサービス水準の低下が挙げられるが、より本質的な原因は、車の利用を前提とした都市の構造にあると考えられる。したがって、車主体の交通体系から、公共交通を中心とした交通体系へ変換するためには、バス輸送のサービス形態に適合した市街地を計画的に形成させることが必要であると考えられる。

これに関連して、近年、米国では、公共交通指向型開発 (TOD; Transit Oriented Development) が議論されている¹⁾。これは、車からバスや鉄道等の公共交通への転換を、都市開発とセットで行う施策であり、特にバスの利用を促進する一つの有用な方向性を示したものと言える。TODには様々な方策が提案されているが、鉄道の成立しない都市での適用を考えた場合、バス停留所付近での高密度な開発が有効な手段であると考えられる¹⁾。

しかしながら、このような高密度で集約的な立地は、一方では、新たな車の需要を発生させるため、道路の容量が低下し、混雑の要因となる可能性がある。したがって、立地量の変化による発生交通量の増大が、道路ネットワークへ及ぼす影響について、

あらかじめ十分考慮する必要がある。

本研究では、以上の点を踏まえ、実際の都市を対象にTODを導入する場合を想定し、バスの利用を考慮した道路ネットワーク容量と整合するような、最大の立地量を算出するためのモデル (立地誘導モデル) を構築することで、TODについて計量的な検討を可能とする。これは、交通施設の容量からみた、都市開発における立地量の適正水準を求めるものであり、TODにおいて、計画主体が立地パターンを決定する上で、一つの指標となるものと考えられる。

2. モデルの定式化

(1) 立地誘導モデル

道路ネットワークの容量と整合するように立地 (あるいは、その派生としての交通需要) を誘導する方法は、これまで数多く研究されている^{2)~5)}。これらの研究は、都市開発による立地量の適正水準を、道路ネットワークの面から検討することを目的としたものである。この場合の適正指標には、与えられた道路ネットワーク容量のもとでの最大のOD交通量 (あるいは発生交通量) が用いられている。

ここで、立地誘導における各主体の行動を考えると、一般に立地の誘導や規制は、計画主体によって政策として行われるものであり、利用者は、こうした政策意図とは関係なく、与えられた範囲内で、自己にとって最適な選択行動をとると考えるのが自然である。一方、計画主体は、このような利用者の行動を予測した上で、道路ネットワークが効率的に利用されるように、立地量をコントロールすると考えられる。

飯田ら⁴⁾は、この概念に基づき、立地誘導問題を、利用者の行動を制約条件として、OD交通量 (発生交通量) を最大化する2段階最適化問題とし

* Keywords: 公共交通計画, 2段階最適化問題

※※ 学生員 工修 日本大学大学院理工学研究科交通土木工学専攻

※※※ 正員 工博 日本大学理工学部交通土木工学科

※※※※ フォロ- 工博 日本大学理工学部交通土木工学科

〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1

Telephone/Fax: 0474-69-5355

て定式化している。また、赤松ら⁵⁾は、勤務地が所与の通勤者の居住地選択行動に焦点を当て、同様に2段階最適化問題を定式化し、道路ネットワークの容量からみた許容される最大のオフィス立地可能量を求めている。これらの研究は、立地誘導問題を2段階最適化問題として定式化することで、利用者の行動を明示的に扱うことを可能としており、総合的な立地問題を検討する上で有用である。

(2) TODのための立地誘導モデル

本研究では、TODの一つとして、1.で述べたバス停留所付近での高密度な土地利用を誘導する場合を想定して、TODのための立地誘導モデルを構築する。

はじめに、バス型のTOD問題の構造を考える。計画主体は、バスの利用を促進するように、立地パターンを決定する。その際、利用者は、計画主体の意向に関わらず、合理的な判断に基づいて、目的地および交通機関、経路を選択すると考える。これに対して、計画主体は、このような利用者の行動を予測した上で、道路ネットワークが効率的に利用されるように、立地パターンの適正化を行うとする。

以上の仮定は、十分現実的であると考えられる。したがって、この場合も2段階最適化問題として定式化が可能であり、飯田らの研究を援用することで、モデルを構築できると考えられる。具体的には、利用交通機関として、公共交通機関（この場合、バス）を含めるため、下位問題を需要変動型利用者均衡モデルに拡張する。また、決定変数は、最大の立地量（トリップベースで表現）とし、これを立地容量および道路ネットワーク容量に関する制約の下で最大化する。

ところで、公共交通を含むネットワークでの交通均衡問題については、既に多くの理論および実証研究がなされている⁶⁾。本研究では、このうち、Florian and Nguyenによる分布・分担・配分統合均衡モデル⁷⁾を用いて、下位問題における利用者の行動を記述する。ここで、統合均衡モデルを採用した理由は、次の通りである。

①目的地選択、交通機関、経路選択に関する利用者の行動を一貫して記述できる。ここで用いるモデルは、発生交通量のみを与件とすることで、交通機関別OD交通量、リンク交通量、均衡コスト

が内生的に決定される。

②単一の数理最適化問題として定式化されるため、既存のアルゴリズムで計算可能である。

以下、ネットワークにおける諸条件および利用者の選択行動を記述する。

(a) ネットワーク条件

道路ネットワークは、リンクとノードの集合からなる。同一リンク上を、車とバスが走行するとする。ただし、バスのサービス水準は一定とする。このとき、リンクの交通量およびコストは、次式で与えられる。

$$x_a = \sum_{rs} \sum_k f_k^{rs} \delta_{a,k}^{rs} + x_a^{bus} \quad \forall a \quad (2.1)$$

$$c_k^{rs} = \sum_a \delta_{a,k}^{rs} t_a(x_a) \quad \forall k, r, s \quad (2.2)$$

$$c_k^{rs,bus} = \sum_b \delta_{b,k}^{rs,bus} c_b \quad \forall k, r, s \quad (2.3)$$

ここに、

x_a : リンク a の交通量

f_k^{rs} : ODペア rs 間の k 番目経路の車の交通量

$\delta_{a,k}^{rs}$: ODペア rs 間の k 番目経路がリンク a を含むとき；1，そうでないとき；0

x_a^{bus} : 乗用車換算したバスのリンク交通量

c_k^{rs} : ODペア rs 間の k 番目経路の車のコスト

$t_a(\cdot)$: リンク a の走行時間関数

$c_k^{rs,bus}$: ODペア rs 間の k 番目経路のバスのコスト

c_b : バスリンクのコスト（一定値）

である。

(b) 利用者の選択行動

一方、利用者は、自己の効用が最大となるように、目的地、交通機関、経路を同時に選択すると仮定する。なお、ここでは、交通コストに関する効用のみを考える。まず、ゾーン r からの発生交通量 O_r が所与である場合のOD交通量は、(2.4) のようにロジット式で与えられる。

$$q_{rs} + q_{rs}^{bus} = O_r \frac{\exp(-\theta c^{rs}) + \exp(-\theta c^{rs,bus})}{\sum_s \{\exp(-\theta c^{rs}) + \exp(-\theta c^{rs,bus})\}} \quad (2.4)$$

また、車およびバスの選択確率は、(2.5)のようにロジット式で与えられる。

$$P_r = \frac{1}{1 + \exp[-\theta(c^{rs,bus} - c^{rs})]} \quad (2.5)$$

それぞれの交通機関を利用する利用者の経路選択は、Wardropの第1原則に従うものとする。

<車利用者>

$$f_k^{rs}(c_k^{rs} - c^{rs}) = 0 \quad \forall k, r, s \quad (2.6a)$$

$$c_k^{rs} - c^{rs} \geq 0 \quad \forall k, r, s \quad (2.6b)$$

<バス利用者>

$$f_k^{rs,bus}(c_k^{rs,bus} - c^{rs,bus}) = 0 \quad \forall k, r, s \quad (2.7a)$$

$$c_k^{rs,bus} - c^{rs,bus} \geq 0 \quad \forall k, r, s \quad (2.7b)$$

ここに、

q_{rs} : ODペア rs 間の車のOD交通量

q_{rs}^{bus} : ODペア rs 間のバスのOD交通量

(パーソントリップ)

O_r : ゾーン r からの発生交通量

$f_k^{rs,bus}$: ODペア rs 間の k 番目経路のバスの交通量

c^{rs} : ODペア rs 間の車の最小コスト

$c^{rs,bus}$: ODペア rs 間のバスの最小コスト

θ : パラメータ

である。

なお、バスのコストは交通量の関数ではないため、最小コストを与える経路は、常に1本である。

以上の定式化は、次に示す等価な最適化問題に置き換えられることができる。

[最適化問題]

$$\begin{aligned} \min \quad & \frac{1}{\theta} \sum_{rs} q_{rs} \ln q_{rs} + \sum_a \int_0^{x_a} t_a(\omega) d\omega \\ & + \sum_{rs} q_{rs}^{bus} \left(\frac{1}{\theta} \ln q_{rs}^{bus} + c^{rs,bus} \right) \end{aligned} \quad (2.8a)$$

subject to

$$\sum_k f_k^{rs} = q_{rs} \quad \forall r, s \quad (2.8b)$$

$$\sum_k f_k^{rs,bus} = q_{rs}^{bus} \quad \forall r, s \quad (2.8c)$$

$$\sum_s (q_{rs} + q_{rs}^{bus}) = O_r \quad \forall r \quad (2.8d)$$

$$x_a = \sum_{rs} \sum_k f_k^{rs} \delta_{a,k}^{rs} + x_a^{bus} \quad \forall a \quad (2.8e)$$

$$f_k^{rs} \geq 0, f_k^{rs,bus} \geq 0 \quad \forall k, r, s \quad (2.8f)$$

$$q_{rs} \geq 0, q_{rs}^{bus} \geq 0 \quad \forall r, s \quad (2.8g)$$

以上の最適化問題を解くことにより、車およびバスのOD交通量、リンク交通量、均衡コストが内生的に決定される。

(3) 2段階最適化問題としての定式化

以上、計画主体による立地誘導、利用者の選択行動に関する仮定に基づき、バス型のTODのための立地誘導モデルを、2段階最適化問題として定式化する。

[上位問題]

$$\max \sum_r O_r \quad (2.9a)$$

subject to

$$x_a \leq \mu_a C_a \quad \forall a \quad (2.9b)$$

$$O_r' \leq O_r \leq O_r'' \quad \forall r \quad (2.9c)$$

$$D_s' \leq D_s \leq D_s'' \quad \forall s \quad (2.9d)$$

[下位問題]

$$\begin{aligned} \min \quad & \frac{1}{\theta} \sum_{rs} q_{rs} \ln q_{rs} + \sum_a \int_0^{x_a} t_a(\omega) d\omega \\ & + \sum_{rs} q_{rs}^{bus} \left(\frac{1}{\theta} \ln q_{rs}^{bus} + c^{rs,bus} \right) \end{aligned} \quad (2.10a)$$

subject to

$$(2.8b)-(2.8g)$$

ここに,

C_a : リンク a の交通容量

μ_a : リンク a の許容混雑度

O_r : ゾーン r からの発生交通量

O_r^u : ゾーン r からの発生交通量の上限値

O_r^l : ゾーン r からの発生交通量の下限値

D_s : ゾーン s への集中交通量

D_s^u : ゾーン s への集中交通量の上限値

D_s^l : ゾーン s への集中交通量の下限値

である。

以下, 定式化について説明する。まず, 上位問題は, 計画主体の行動を表わしており, 立地容量および道路ネットワークの容量が許容する範囲内で, 最大の立地量 (トリップベースで表現) を決定する。(2.9a) は, 目的関数であり, ゾーン r から発生する交通量 O_r の合計を最大化する。 O_r は, 2 段階最適化問題における決定変数である。(2.9b)~(2.9d) は, 制約条件である。このうち, (2.9b) は, 道路の容量に関する制約である。ここで, リンク交通量 x_a は, 下位問題での統合均衡モデルを解くことで得られる。(2.9c) は, ゾーン r から発生する交通量の上・下限値, (2.9d) は, ゾーン s へ集中する交通量の上・下限値であり, これらの値は, 政策意図に応じて与えられる。本研究では, バス停留所付近において, 高密度な土地利用が行われるように, 当該ゾーンの立地容量の上限値を設定する。

次に, 下位問題は, 先に示した分布・分担・配分統合均衡モデルであり, 利用者の行動を表わしている。ここでは, (2.8d) で, 上位問題より最大発生交通量 O_r が与えられ, 以下, 統合均衡モデルを解くことで, 車およびバスの OD 交通量, リンク交通量, 均衡コストが同時に算出される。

以上より, TOD のための立地誘導モデルは, 2 段階最適化問題として解くことが可能である。

(4) 解の存在性に関する考察

ここでは, (3) で定式化した 2 段階最適化問題の解の存在性について検討する。一般に, 2 段階最適化問題の解が存在するための条件は, 以下の通りである⁸⁾。

①上位・下位問題の目的関数および上位問題の制約条件を表わす関数が, 決定変数に対して連続である。

②下位問題の制約条件が凸であり, 下位問題が実行可能である。

③上位問題の決定と, それに対応する下位問題の最適解を用いて表わされた上位問題の制約領域が空でない。

このうち, ①, ③については明らかである。②については, 下位問題の制約条件は, 経路交通量に対して線形であるため, これらを満足する変数の集合は凸集合となり, 解の存在は保証される。

3. おわりに

本稿では, バス型の TOD のための立地誘導モデルを, 2 段階最適化問題として定式化した。なお, 実際の都市を対象に計算を行った結果については, 講演時に報告する。

参考文献

- 1) 中村文彦, バス型の公共交通指向型開発の動向と適用可能性, 第30回日本都市計画学会学術研究論文集, pp. 607-612, 1995.
- 2) 清田勝・高田弘・樗木武, 道路網容量から見た土地利用の在り方に関する考察, 土木計画学研究・講演集 No. 7, pp. 375-380, 1985.
- 3) 栢谷有三・斎藤和夫, 道路網の容量から見た土地利用活動の立地配分, 交通工学 Vol. 22 No. 4, pp. 9-22, 1987.
- 4) 飯田恭敬・李燕, 交通需要と道路網の整合性に関する研究, 土木学会論文集 No. 506/IV-26, pp. 109-118, 1995.
- 5) 赤松隆・半田正樹, 交通ネットワーク・居住立地の同時均衡条件下での許容オフィス立地量, 土木計画学研究・論文集 No. 14, pp. 235-257, 1997.
- 6) 土木計画学研究委員会, 交通ネットワークの均衡分析ー最新の理論と解法ー, 土木学会, 1998.
- 7) Florian, M and Nguyen, S, A Combined Distribution Modal Split and Trip Assignment Model, Transpn. Res. Vol. 12, pp. 241-246, 1978.
- 8) 飯田恭敬・朝倉康夫・田中啓之, 複数経路を持つ都市高速道路網における最適流入制御モデルの定式化と解法, 土木学会論文集 No. 449/IV-17, pp. 135-144, 1992.