

公共交通指向型開発のための立地誘導モデルの開発

—東南アジアの都市を想定して—

A Study on Location Control Model for Transit Oriented Development

— For Southeast Asian Cities —

金子 雄一郎 **, 榛澤 芳雄 ***, 福田 敦****

By Yuichiro KANEKO **, Yoshio HANZAWA ***, Atsushi FUKUDA ****

1. 研究の背景と目的

現在、東南アジアの多くの都市は、モータリゼーションの急速な進展による深刻な交通渋滞を抱えている。これらの都市における公共交通機関は、バスをはじめ路上交通機関が主体であり、この問題を解決するためには地下鉄等の軌道系交通機関の導入が望まれる。しかしながら、軌道系を中心とする都市交通体系が確立するまでには多年を要する。

したがって、こうした都市において交通渋滞を解決するために、当面バスサービスの改善が必要不可欠であると考えられる。事実、バス専用レーンの設置などによるバスの輸送力の増強およびサービスの向上が図られているが、これらの整備を上回る速度で都市開発が進んでいるため、そこから発生する交通需要に十分には対応できず、問題の解決には至っていない。そこで、より根本的な解決のためには、交通需要（特に自動車需要）を抑制するための土地利用のコントロールを検討する必要があると考えられる。

このような観点から、近年、交通計画の中に土地利用コントロールを取り入れることで自動車の需要を抑制する総合的な交通計画が各国で具体化され、また一部では実施されている¹⁾。特にアメリカを中心に議論されている公共交通指向型開発（TOD; Transit Oriented Development）は、バスを含む公共交通を軸として都市開発を行っていく施策であり²⁾、前述の東南アジアの都市における交通問題の解決策として有効な政策と考えられる。このTODを実現する方法として様々な方法が提案されているが、鉄道の成立しない都市においては、バ

ス停留所付近での土地利用を高密度化する方法が有効であると考えられる。

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自動車の需要を発生させるため²⁾、かえって道路の混雑を悪化させる可能性がある。TODの先行事例には、公共交通を整備したにも関わらず、大幅な自動車交通の削減にはつながっていないケースもあることから³⁾、TODの導入にあたっては、立地量の変化に伴う発生・集中交通量の増大が道路ネットワークへ与える負荷について、あらかじめ十分考慮する必要がある。

本研究では、実際の都市を対象にTODを導入する場合、どの程度立地の可能性があるか定量的に求めるためのモデルを開発する。具体的には、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立地誘導モデルを構築する。これは、交通施設の容量からみた適正な立地量を求めるものであり、TODにおいて計画主体が土地利用規制を行う上で一つのガイドライン（指標）となるものと考えられる。

以下、論文の構成を述べる。第2章では、TODに関する既往研究を整理し、本研究の位置付けを明確にする。第3章では、TODのための立地誘導モデルを2段階計画問題の枠組みで定式化する。第4章では、3章で定式化した2段階計画問題の解法について検討する。第5章では、モデル都市を対象に数値シミュレーションを行う。TODを導入した場合の立地パターンを算出し、併せて道路ネットワークへの負荷の軽減効果についても分析する。

2. 既往研究の整理と本研究の位置付け

TODに関する既往研究は、中村(1998)⁴⁾が指摘している通り事例紹介が中心であり、計量的な分析は残念ながら僅かしか行われていない。まず、TODの事例としては、ブラジルのクリチバ市の都市交通政策が有名である。詳細は中村(1995)⁵⁾に譲るが、クリチバ市では

*キーワード：公共交通計画，土地利用計画

** 学生員 修(工) 日本大学大学院理工学研究科交通土木工学専攻
(〒274-8501 船橋市習志野台7-24-1 TEL & FAX: 047-469-5355)

*** フェロー 工博 日本大学理工学部交通土木工学科
(〒274-8501 船橋市習志野台7-24-1 TEL & FAX: 047-469-5219)

**** 正員 工博 日本大学理工学部交通土木工学科
(〒274-8501 船橋市習志野台7-24-1 TEL & FAX: 047-469-5355)

1960年代の成長時期に持続可能な発展を目指した総合的なマスタープランを策定し、その基幹的な政策としてTODを採用した。その内容は数本の広幅員の都市軸を設定し、ここに高頻度のバス輸送を導入し、このバスの利用を促進するように沿道の土地利用を高密度に設定するものであった。現在までのところ、クリチバ市のTODはうまく機能しており、今後TODの導入を検討している他の都市に対して有益な示唆を与えようと考えられる。

一方、TODの直接的な分析事例ではないが、土地利用と交通行動の相互連関についての基礎的な分析例として、以下の研究が挙げられる。石田(1995)⁶⁾は、マイクロシミュレーションモデルを用いて、駅端末バスが成立するための沿道市街地の密度や立地条件を求めている。また、Cervero(1995)⁷⁾は、世帯における自動車保有台数と公共交通の分担率との関係や、職場までの距離と利用手段との関係を分析している。藤平、大蔵、中村(1998)⁸⁾は、商業および公共施設の最寄り駅からの距離と自動車分担率との関係を分析している。これらの研究は、利用者の実際の行動を分析したものであり、特に後者では、駅周辺における施設の集積が、自動車分担率をある程度減少させる効果があることを実証している。

以上の既往研究に対して、本研究では、マクロ的な観点からTODのための立地パターンを決定するためのモデルを構築することに主眼を置いている。具体的には、TODを導入した場合の道路ネットワークへの負荷を考慮するために、TODにおける立地パターン決定問題を一般的な立地誘導問題の枠組みで定式化する。そして、提案したモデルを用いてモデル都市を対象に数値シミュレーションを行うとともに、TODを導入した場合のネットワークへの負荷の軽減効果についても分析する。

3. モデルの定式化

(1) 立地誘導モデル

2章で述べたように、本研究ではTODにおける立地パターン決定問題を既往の立地誘導問題の枠組みで捉える。この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）を誘導する方法については、これまでいくつかの研究例がある（例えば、清田、高田、樗木(1985)⁹⁾、栢谷、斎藤(1987)¹⁰⁾）。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り、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。しかしながら、これらの研究は利用者の行動の記述面で問題が残る。

飯田、李(1995)¹¹⁾は、立地誘導における各主体の行動を次のように考えることで、この問題の解決策を示した。すなわち、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られる。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。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段階計画問題として定式化し、利用者の行動を明示的に扱うことを可能とした。

(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。

TODにおいても、各主体が立地パターンを決定する場合の行動は、(1)で述べた立地誘導の場合と同様に仮定してよいであろう。この場合も2段階計画問題として定式化が可能であり、先の飯田、李の研究を援用することで、モデルを構築できる。具体的には、利用交通機関として、公共交通機関（本研究ではバス）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、発生交通量（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¹²⁾。本研究では、このうちFlorian and Nguyen(1978)¹³⁾による分布・分担・配分統合モデル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、交通機関選択、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。自動車とバスは各々独立したリンクを走行すると考える。自動車は混雑の影響を受けるが、バスは専用レーン（もしくは専用軌道）を走行すると考え、コストは一定とする。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。

$$x_a = \sum_{rs} \sum_k f_k^{rs} \delta_{a,k}^{rs} \quad \forall a \quad (1)$$

$$c_k^{rs} = \sum_a \delta_{a,k}^{rs} t_a(x_a) \quad \forall k, r, s \quad (2)$$

$$c_k^{rs,bus} = \sum_b \delta_{b,k}^{rs,bus} c_b \quad \forall k, r, s \quad (3)$$

ここに、

x_a : リンク a の交通量

f_k^{rs} : ODペア rs 間の k 番目経路の自動車の交通量

$\delta_{a,k}^{rs}$: 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

c_k^{rs} : ODペア rs 間の k 番目経路の自動車のコスト

$t_a(\cdot)$: 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

$\delta_{b,k}^{rs,bus}$: ODペア rs 間の k 番目経路がバスリンク b を

含むとき ; 1, そうでないとき ; 0

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

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。ここでの選択要因は、交通コストおよび目的地固有の魅力度とする。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、(4) のようにロジット式で与えられる。

$$q_{rs} + q_{rs}^{bus} = O_r \frac{\exp(-\theta(c_{rs} - M_s)) + \exp(-\theta(c_{rs}^{bus} - M_s))}{\sum_s \{\exp(-\theta(c_{rs} - M_s)) + \exp(-\theta(c_{rs}^{bus} - M_s))\}} \quad (4)$$

また、自動車およびバスの選択確率は、(5) のようにロジット式で与えられる。

$$P_r = \frac{1}{1 + \exp[-\theta(c^{rs,bus} - c^{rs})]} \quad (5)$$

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。

<自動車利用者>

$$f_k^{rs} (c_k^{rs} - c^{rs}) = 0 \quad \forall k, r, s \quad (6a)$$

$$c_k^{rs} - c^{rs} \geq 0 \quad \forall k, r, s \quad (6b)$$

<バス利用者>

$$f_k^{rs,bus} (c_k^{rs,bus} - c^{rs,bus}) = 0 \quad \forall k, r, s \quad (7a)$$

$$c_k^{rs,bus} - c^{rs,bus} \geq 0 \quad \forall k, r, s \quad (7b)$$

ここに、

q_{rs} : ODペア rs 間の自動車のOD交通量

q_{rs}^{bus} : ODペア rs 間のバスのOD交通量

O_r : ゾーン r からの発生交通量

c^{rs} : ODペア rs 間の自動車の最小コスト

$c^{rs,bus}$: ODペア rs 間のバスの最小コスト

M_s : 目的地 s の魅力度

$f_k^{rs,bus}$: ODペア rs 間の k 番目経路のバス利用者数

θ : パラメータ

である。

ここで、バスのコストは交通量の関数ではなく、一定値であるため、最小コストを与えるバス経路は常に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]

$$\begin{aligned} \min . \quad & \frac{1}{\theta} \sum_{rs} q_{rs} \ln q_{rs} + \sum_a \int_0^{x_a} t_a(\omega) d\omega \\ & + \sum_{rs} q_{rs}^{bus} \left(\frac{1}{\theta} \ln q_{rs}^{bus} + c^{rs,bus} \right) \\ & - \sum_s M_s (q_{rs} + q_{rs}^{bus}) \end{aligned} \quad (8a)$$

subject to

$$\sum_k f_k^{rs} = q_{rs} \quad \forall r, s \quad (8b)$$

$$\sum_k f_k^{rs,bus} = q_{rs}^{bus} \quad \forall r, s \quad (8c)$$

$$\sum_s (q_{rs} + q_{rs}^{bus}) = O_r \quad \forall r \quad (8d)$$

$$x_a = \sum_{rs} \sum_k f_k^{rs} \delta_{a,k}^{rs} \quad \forall a \quad (8e)$$

$$f_k^{rs} \geq 0, f_k^{rs,bus} \geq 0 \quad \forall k, r, s \quad (8f)$$

$$q_{rs} \geq 0, q_{rs}^{bus} \geq 0 \quad \forall r, s \quad (8g)$$

以上の最適化問題を解くことにより、自動車およびバスの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段階計画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段階計画問題として定式化する。

[上位問題]

$$\max. \sum_r O_r \quad (9a)$$

subject to

$$x_a \leq \mu_a C_a \quad \forall a \quad (9b)$$

$$O_r^l \leq O_r \leq O_r^u \quad \forall r \quad (9c)$$

$$D_s^l \leq D_s \leq D_s^u \quad \forall s \quad (9d)$$

[下位問題]

$$\begin{aligned} \min. & \frac{1}{\theta} \sum_{rs} q_{rs} \ln q_{rs} + \sum_a \int_0^{x_a} t_a(\omega) d\omega \\ & + \sum_{rs} q_{rs}^{bus} \left(\frac{1}{\theta} \ln q_{rs}^{bus} + c^{rs,bus} \right) \\ & - \sum_s M_s (q_{rs} + q_{rs}^{bus}) \end{aligned} \quad (10a)$$

subject to

(8b) - (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。

上位問題は、TODにおける計画主体の行動を記述しており、道路ネットワークの容量および立地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。(9a)は目的関数であり、総発生交通量の最大化である。(9b)～(9d)は制約条件である。このうち、(9b)は各リンクの交通量が許容量以下であるための条件である。リンク交通量 x_a は、下位問題における分布・分担・配分統合モデルを解くことで内生的に与えられる。(9c)、(9d)は各ゾーンの立地量の範囲に関する制約条件である。各々の上・下限値は、政策意図に応じて外生的に与えられる。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。なお、上記3つの制約条件のいずれかによって最大立地量は規定される。

次に下位問題は、先に示した分布・分担・配分統合モデルであり利用者の行動を記述している。ここでは、(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自動車およびバスの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段階計画問題として定式化された。

(4) 解の存在性に関する考察

ここで、(3)で定式化した2段階計画問題の解の存在性について検討する。一般に、2段階計画問題の解が存在するための条件は、以下の通りである¹⁴⁾。

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。

4. 解法アルゴリズムの検討

(1) 2段階計画問題

ここでは、2章で定式化した2段階計画問題の解法アルゴリズムを検討する。本研究における2段階計画問題は、制約条件式が非線形でかつ陽に与えられていないため、解析的に制約領域を明示することができず、通常の勾配法によって最適解を探索することは難しい。このような構造の問題の解法として、飯田、朝倉、田中(1992)¹⁴⁾は、勾配を用いない非線形計画問題のアルゴリズムの一つである不等式制約付きシンプレックス法（コンプレックス法）の適用を提案したが、ネットワークの規模が大きくなると、収束の保証が得られない可能性が指摘されている（飯田、李(1995)¹¹⁾）。

本研究の第一目的は、実際の都市を対象に、TODを導入した場合の立地パターンを算出することであるため、今回は、飯田、倉内(1998)¹⁵⁾によって提案された試行錯誤型の解法である加重増加法を用いることとする。この方法は、現在の試行点で解の探索方向を求め、その方向に向かって可能な限り解を増加させ、その解を次の試行点とする解法である。そのため、算出された解は、TODのための一つの指標値と考えることができる。ここで、加重増加法の計算フローを図-1に示す。

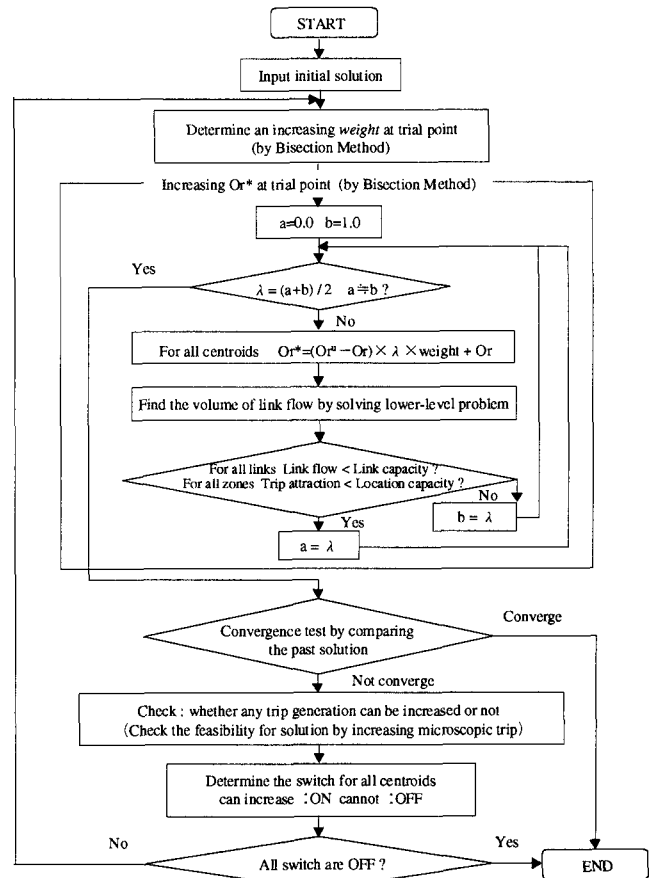


図-1 加重増加法計算フロー¹⁵⁾

(2) 分布・分担・配分統合モデル

一方、下位問題における分布・分担・配分統合モデルの解法については、これまで多くの研究がなされている。そのうち、モード間の相互干渉を考慮しない場合の統合均衡モデルの解法には、これまでに主に以下の2つの方法が提案されている¹²⁾。

① Frank-Wolfe法を直接適用する方法

② 目的関数の第1項のみを部分的に線形化する方法

LeBlanc and Farhangian(1981)¹⁶⁾は、上記2手法を、分布・配分統合モデルの解法として適用した結果、安定性に関しては、後者の方が優れた結果が得られたと報告している。一方、本研究で扱う分布・分担・配分統合モデルの解法については、筆者らの知る限りでは、Florian and Nguyen(1978)¹³⁾によってFrank-Wolfe法が適用されているのみである。したがって、本研究では、分布・分担・配分統合モデルの解法に、②の部分線形化アルゴリズムを用いる。

ここで、(8a)の目的関数の第1項を線形近似すると、発生ノードに分解された後の方向探索のための補助問題は以下のように定式化される。

[補助問題]

$$\min . \hat{Z}^n(\mathbf{g}, \mathbf{v}) = \sum_s \left\{ \sum_k c_k^{rs}(\mathbf{f}^n) g_k^{rs} + \frac{1}{\theta} v_{rs} \ln v_{rs} + \frac{1}{\theta} v_{rs}^{bus} \ln v_{rs}^{bus} + c^{rs,bus} v_{rs}^{bus} - M_s (v_{rs} + v_{rs}^{bus}) \right\} \quad (11a)$$

subject to

$$\sum_k g_k^{rs} = v_{rs} \quad \forall r, s \quad (11b)$$

$$\sum_k g_k^{rs,bus} = v_{rs}^{bus} \quad \forall r, s \quad (11c)$$

$$\sum_s (v_{rs} + v_{rs}^{bus}) = O_r \quad \forall r \quad (11d)$$

$$g_k^{rs} \geq 0, g_k^{rs,bus} \geq 0 \quad \forall k, r, s \quad (11e)$$

$$v_{rs} \geq 0, v_{rs}^{bus} \geq 0 \quad \forall r, s \quad (11f)$$

ここで、 g_k^{rs} は経路交通量 f_k^{rs} の補助変数、 v_{rs} と v_{rs}^{bus} は、自動車およびバスのOD交通量 q_{rs} と q_{rs}^{bus} の補助変数である。補助計画問題の1次の条件を整理すると、補助変数は以下のように表される。

$$v_{rs} = O_r \cdot \frac{\exp(-\theta(u_{rs} - M_s))}{\sum_s \{\exp(-\theta(u_{rs} - M_s)) + \exp(-\theta(u_{rs}^{bus} - M_s))\}} \quad (12)$$

ここで、 u_{rs} および u_{rs}^{bus} は自動車およびバスのODペア rs 間の最小コストである。したがって、補助計画問題の解は上記のOD交通量 v_{rs} を最短経路に配分することで得られる。したがって、分布・分担・配分統合モデルの部分線形化アルゴリズムは以下の通り整理できる。

[部分線形化アルゴリズム]

[Step.0] 初期化

初期実行可能解 $\{x^1, q^1, q^{bus,1}\}$ を決定 Set $n=1$;

[Step.1] リンクコストの更新

$$t_a^n = t_a(x_a^n);$$

[Step.2] 降下方向決定

- $\{t^n\}$ を用いて各ODペアの最短経路探索し、最小コスト $\{u^n\}$ を計算。
- 式(12)より、補助変数 $\{v\}$, $\{v^{bus}\}$ を計算。
- (a)で求めた $\{v\}$ を最短経路に配分し、補助リンク交通量 $\{y\}$ を得る。

[Step.3] 1次元探索

以下の最適化問題を解いて α を決定。

$$\begin{aligned} \min. & Z(x^n + \alpha(y - x^n), q^n + \alpha(v - q^n), \\ & q^{bus^n} + \alpha(v^{bus} - q^{bus^n})) \\ \text{subject to} & 0 \leq \alpha \leq 1 \end{aligned}$$

[Step.4] 解の改訂

リンク交通量およびOD交通量の更新。

$$x^{n+1} = x^n + \alpha(y - x^n)$$

$$q^{n+1} = q^n + \alpha(v - q^n)$$

$$q^{bus^{n+1}} = q^{bus^n} + \alpha(v^{bus} - q^{bus^n})$$

[Step.5] 収束判定

$$\max. \left\{ |x_a^n - x_a^{n-1}| / x_a^n \right\} \leq \varepsilon \text{ であれば終了.}$$

それ以外では $n=n+1$ として Step.1へ。

5. 数値シミュレーション

(1) 条件設定

本研究では、実際の都市におけるネットワークを基に作成したテストネットワークを対象に、TODを導入した場合の立地パターンを算出する。モデル都市の利用可能な交通機関は、バス交通と自動車交通であり、これは多くの東南アジアの都市の交通体系と同じである。ネットワークの構成は、リンク数52、ノード数34、セントロイド数17である。テストネットワークを図-2に示す。

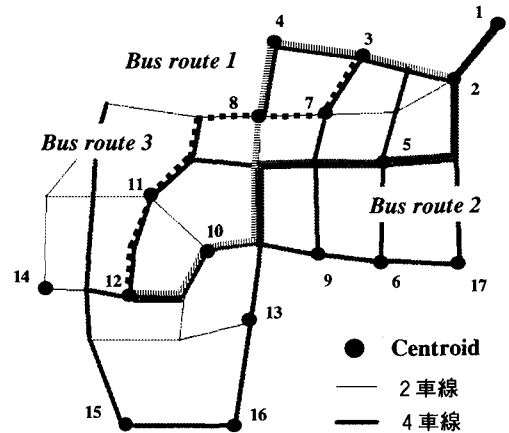


図-2 テストネットワーク

数値シミュレーションを行うための条件は以下の通りである。

(a) バス路線およびサービス水準

バス路線は3路線設定し、運行台数はいずれも250台/日・往復とする(図-2参照)。TODを導入する場合には、立地のコントロールと併せて、バスのサービス水準の向上等の利用促進策を行うことが重要である²⁾。したがって、これら3路線は、いずれもバス専用レーン(あるいは専用軌道)が走行するとし、バスの平均走行速度を15km/hに設定する。また、サービス水準を向上させた場合として、走行速度を20km/hに設定した場合についても検討する。これは、乗車前に乗車券を発売するこ

とで、乗降に必要な時間を大幅に短縮した場合を想定している⁵⁾。なお、本来バス専用レーンを設置すると一般車線を削減することになるが、ここでは一般車の走行車線は減らさないと仮定する。

(b) リンク走行条件

リンク上の交通量と走行時間の関係は、以下のBPR関数を用いる。

$$t_a(x_a) = t_{ao} (1 + \alpha(x_a/C_a)^\beta)$$
 (13)

ここで、 t_{ao} ：リンク a の自由走行時間である。一方パラメータは、 $\alpha=0.96, \beta=1.2$ を用いる¹⁷⁾。また、自動車の平均乗車人員は1.3人/台とし、道路ネットワークへの負荷を算定する際に必要となるバスのPCU値は3とする。

(c) 目的地の魅力度

目的地選択モデル(4)における目的地固有の魅力度については、バスゾーンのうち2路線が通っているゾーンを10、1路線のゾーンを5に、それ以外のゾーンについては0に設定する。なお、実際の適用にあたっては、商業施設の集積等ゾーンの魅力を表す変数を含む回帰モデルで推定された値を、魅力度として用いる。

(d) 道路ネットワーク容量

ネットワークの容量は、実際に設定されている値を参考に、2車線道路が15,000台/日、4車線道路が40,000台/日(一部48,000台/日)とする。また、(9b)の許容混雑率は1.1とする。

(e) 立地量の上限值

(9c)における各ゾーンの発生交通量および集中交通量の上限値を、バスの利用が促進されるように、以下のように設定する。

- ①バス路線が含まれるゾーン(以下バスゾーン)
 - 2路線以上が通っているゾーン...50,000
 - 1路線が通っているゾーン...30,000
- ②その他のゾーン

15,000(いずれも単位は、パーソントリップ/日)

なお、下限値については今回は特に設定しない。

(f) パラメータ

モデルの計算に必要となる(4)および(5)における分散パラメータは、0.1とする。

(2) シミュレーション結果

以上の条件の下、テストネットワークを対象に数値シミュレーションを行った結果を図-3に示す。図から分

かるように、バスゾーンの集積度は高く、一方それ以外のゾーンの立地量は低い結果となっている。これより本研究で提案したモデルによってTODのための立地パターンが得られることが示された。

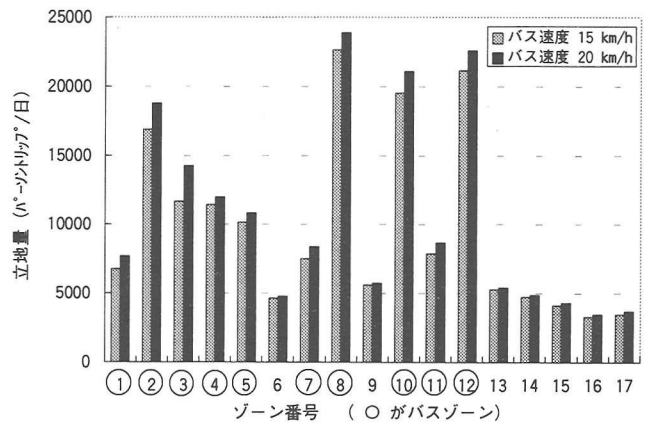


図-3 TODのための立地パターン

一方、バスの走行速度が15km/hと20km/hの場合を比較すると、総発生交通量が、それぞれ166,563トリップと180,400トリップであり、20km/hの方が約14,000トリップ多い結果となった。これより、バスのサービス改善方策は可能立地量を増加させる効果があることが示された。

(3) 考察

(2)において得られた立地パターンに基づいてTODを導入した場合、道路ネットワークへの負荷がどの程度軽減するか、またどの程度ネットワークが効率的に利用されるか分析を行った。具体的には、(2)で得られた立地パターンをTOD Withケースと考え、これにバス路線が設定されていない場合をWithoutケースとして分布・配分統合モデルを用いて配分計算を行い、それぞれの場合のネットワーク全体の総走行時間および1台あたりの平均OD間所要時間を比較する。その結果を表-1に示す。結果より、総走行時間が約25%、平均所要時間が約7%減少しており、TODが道路ネットワークへの負荷の軽減に大きく貢献するとともに、ネットワークがより効率的に利用されることを示している。

表-1 ネットワークへの負荷および効率性の比較
(バスの速度が15km/hの場合)

	with TOD	without TOD	削減率(%)
総走行時間 (台・時)	10,244	13,400	23.6
OD間平均所要時間 (分/台)	5.7	6.1	6.6

6. 結論と今後の課題

本研究では、東南アジアの都市において深刻化する交通問題の解決策の一つとして、公共交通指向型開発（TOD）が有効であることを指摘し、実際にTODを行うにあたって必要となる適正な立地パターンを決定するための立地誘導モデルを、2段階計画問題として定式化した。そして、提案した立地誘導モデルをモデル都市に適用し、効率的な土地利用計画を策定するためのガイドライン（指標）が得られることを示した。また、バスのサービス水準を向上させることで、可能な立地量が増加することを明らかにした。さらに、TODの道路ネットワークへの負荷と利用の効率性について、TOD導入あり・なしのケースの総走行時間および1台あたりの平均所要時間を比較することで分析した結果、TODは道路ネットワークへの負荷の軽減に大きな効果があるとともに、ネットワークがより効率的に利用されることを明らかにした。

今後の研究課題としては、今回は、立地パターンを決定するためのモデルの構築に主眼を置いたので、さらに現実的な都市規模・バスサービスを考慮した検証が必要である。また、本研究では、立地量をパーソントリップで表現しているが、最終的に必要となるのは密度である。この点については、提案したモデルに土地利用モデルを組込むことで対応が可能と考える。また、解法に関する課題として、実際規模のネットワークを対象とした厳密な解法アルゴリズムの開発が必要である。

参考文献

- 1) 高見淳史, 室町泰徳, 原田昇, 太田勝敏: 自動車利用削減のための土地利用/交通施策に関する議論の整理と商業立地上の論点に関する一考察, 土木計画学研究・論文集 No. 15, pp. 217-226, 1998.
- 2) 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.
- 3) 川村健一, 小門裕幸: サステイナブルコミュニティー持続可能な都市のあり方を求めて, 学芸出版社, 1995.
- 4) 中村文彦: 公共交通を活用した都市開発の適用可能性に関する基礎的研究, IATSS Review Vol. 24 No. 1, pp. 17-24, 1998.
- 5) 中村文彦: クリチバ市の都市交通—公共交通を軸とした持続可能な都市開発の方向性—, 交通工学 Vol. 30 No. 5, pp. 33-40, 1995.
- 6) 石田東生: 駅端末バス交通の成立性に及ぼす郊外住宅地の形状, 密度, 立地条件の影響, 土木計画学研究・講演集 No. 18(1), pp. 434-435, 1995.
- 7) Cervero, R.: Transit-Oriented Development in the United States: Effects of the Built Environment on Travel Behavior, Proceedings of the 7th WCTR, World Conference on Transport Research Society, pp. 57-69, 1995.
- 8) 藤平智子, 大蔵泉, 中村文彦: 公共交通指向型立地政策の適用可能性に関する考察, 土木学会第53回年次学術講演会講演概要集第4部, pp. 734-735, 1998.
- 9) 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.
- 10) 枅谷有三, 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.
- 11) 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.
- 12) 土木計画学研究委員会: 交通ネットワークの均衡分析—最新の理論と解法—, 土木学会, 1998.
- 13) Florian, M. and Nguyen, S.: A Combined Trip Distribution Modal Split and Trip Assignment Model, Transportation Research Vol. 12, pp. 241-246, 1978.
- 14) 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.
- 15) 飯田恭敬, 倉内文孝: 阪神・淡路大震災の実態調査に基づいた震災時の道路交通マネジメントの研究, 第4章震災時の新しい道路交通マネジメント, 国際交通安全学会, pp. 223-242, 1998.
- 16) LeBlanc, L. J. and Farhangian, K.: Efficient Algorithms for Solving Elastic Demand Traffic Assignment Problems and Mode Split Assignment Problems, Transportation Science 15(4), pp. 306-317, 1982.
- 17) 溝上章志, 松井寛, 可知隆: 日交通量配分に用いるリンクコスト関数の開発, 土木学会論文集 No. 401/IV-10, pp. 99-107, 1989.

公共交通指向型開発のための立地誘導モデルの開発 ―東南アジアの都市を想定して―

金子 雄一郎, 榛澤 芳雄, 福田 敦

本研究の目的は、公共交通指向型開発（TOD）を行うにあたって必要となる適正な土地利用パターンを、道路ネットワークの容量と人口密度が整合するように決定するための立地誘導モデルを提案することである。提案する立地誘導モデルは、計画主体の行動を記述する上位問題と利用者の行動を記述する下位問題から構成される２段階計画問題として定式化される。本研究では、このモデルを用いてモデル都市にTODを適用する場合の立地量を推計した。その結果、バス輸送が交通体系の中で中心である都市において効率的な土地利用計画を策定するためのガイドライン（指標）が得られることが確かめられた。

A Study on Location Control Model for Transit Oriented Development – For Southeast Asian Cities –

By Yuichiro KANEKO, Yoshio HANZAWA, Atsushi FUKUDA

The purpose of this study is to propose a location control model for determining a proper land-use pattern, which is required in carrying out Transit Oriented Development (TOD), such that road network capacity and population density will be in proportion.

The location control model is formulated as bilevel programming models by assuming that a land-use pattern for TOD is determined based on the behavior of the planner, who predicts user's behavior and implements land-use planning, and of the user, who decides behavior to maximize his utility according to this planning and drives on a road network.

In this study we estimate the location volume and link flow by using the proposed model. As a result, the guidelines for implementing effective land-use planning can be obtained.
