

## 都市モデルによる

## P&amp;R システム導入位置決定に関する一考察

熊本大学 工学部 学生員 ○河内 誠  
 熊本大学 大学院 正 員 柿本 竜治  
 熊本大学 工学部 正 員 溝上 章志

## 1. はじめに

現在、モータリゼーションの急激な発達に伴う自動車交通量の増大と公共交通機関利用者の減少が都市圏において朝夕の交通渋滞を招いている。これまで交通渋滞対策は交通施設の整備などのハード的対策を中心として取り組まれてきたが、交通渋滞の根本的な解決には至らず、近年は交通需要を管理する交通需要マネジメント策が用いられるようになってきた。このような状況の中で、熊本市では公共交通機関への利用転換を促進し、自動車交通量を削減することによる交通渋滞の緩和を目的としてソフト的対策の一つである P&R システムの導入が考えられている。そこで本研究は、現実社会に P&R システムを導入する前に新都市経済型モデル(NUE モデル)の枠組みの中で P&R システム最適導入位置や規模について検証し、そこから P&R システム導入位置が満たすべき条件に関する規範的な性質を探ることを目的とする。

## 2. 仮想都市の基本仮定

仮想都市の基本仮定は以下の通りである。この都市は業務中心区(CBD)をもつ単一中心都市で、都市内の従業者は1本の道路を利用して自家用車で CBD に通勤する。この都市は図1のように CBD を原点とし、各地点は CBD から距離  $x$  を唯一の属性とする。また、人口密度  $n(x)$ ・地価  $VL(x)$  は郊外へ行くほど低下する。

以上の仮定のもとで地点  $x$  から都心までの所要時間(通勤時間)  $t(x)$  は地点  $x$  の通過速度を  $v(x)$  とすると①式ようになる。ここで、 $v(x)$  は断面交通量  $N(x)$  の関数である。

$$t(x) = \int_0^x \frac{dx}{v(x)} \cdots \textcircled{1}$$

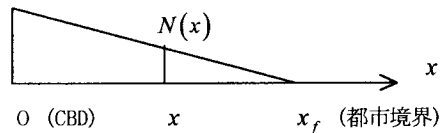


図1 仮想都市

また、自家用車からシステムバスへの転換率  $\gamma$  はシステムバス運行頻度  $f$  とシステムバス利用料金  $P$  の関数とし、システムバス導入位置  $x^*$  には依存しないものとする。

この都市にシステムバスを導入した場合に都心までの総短縮時間を表した式は、システムバス導入前と導入後の地点  $x$  から都心までの所要時間をそれぞれ  $t_0(x)$ 、 $t_1(x)$  とすると②式のように表される。

$$\int_0^{x^*} (t_0(x) - t_1(x)) n(x) dx + (t_0(x^*) - t_1(x^*)) N(x^*) \cdots \textcircled{2}$$

②式において、第1項はシステムバス導入位置より都心側の総短縮時間を第2項はシステムバス導入位置より郊外側の総短縮時間を表している。

次節からは②式を最大にすることを目的として、料金収入  $R$  とシステムバス導入費用  $C$  に収支均衡条件を課す場合と課さない場合に分けて検証する。

## 3. 収支均衡条件がない場合 ○

本節では、収支均衡条件を設定せず所与の  $f$  と  $P$  の下で、都心までの所要時間(通勤時間)短縮を最大にする  $x^*$  を求める問題を考える。この問題は、以下の式で表すことができる。

$$\max_{x^*} \textcircled{2}$$

最適解の一階の条件は③式のようになる。

$$\int_0^{x^*} \frac{\partial t_1(x)}{\partial x^*} n(x) dx = \left( \frac{\partial t_0(x^*)}{\partial x^*} - \frac{\partial t_1(x^*)}{\partial x^*} \right) N(x^*) \dots ③$$

③式において、システムバス導入位置を1単位郊外側に移動するとき、左辺はシステムバス導入位置より内側の通勤者に生じる所要時間増の合計を右辺はシステムバス導入位置を通過する通勤者の総短縮時間の増加量を表している。

#### 4. 収支均衡条件がある場合

実際にP&Rシステムを導入する場合、運行主体は、収支を考慮して、運行頻度やシステムバス料金、駐車場規模などを決定するであろう。そこで、本節では収支均衡条件のもとで $x^*$ 、 $f$ 、 $P$ を内生変数として扱う。ただし、駐車場規模は $f$ と $P$ に依存するものとする。このとき、前述した制約条件の下で、

$$\max_{f, P, x^*} \text{②式}$$

$$s.t. \quad R(P, \gamma N(x^*)) \geq C(VL(x^*), \gamma N(x^*), f)$$

$$P \geq 0, f > 0, x^* > 0$$

を達成する $f$ 、 $P$ 、 $x^*$ が都市内総走行時間の短縮を最大とするようなシステムバス最適導入位置 $\hat{x}^*$ 、最適運行頻度 $f^*$ 、最適システムバス利用料金 $P^*$ である。ここで、

$$L = \int_0^{x^*} (t_0(x) - t_1(x)) n(x) dx + (t_0(x^*) - t_1(x^*)) N(x^*) \\ + \lambda (R(P, \gamma N(x^*)) - C(VL(x^*), \gamma N(x^*), f))$$

( $\lambda$ : ラグランジェ乗数,  $\lambda \geq 0$ )

とすると、クーン・タッカーの一階条件より、次の4つの関係が成り立つ。

$$\int_0^{x^*} \frac{\partial t_1(x)}{\partial f} n(x) dx + \frac{\partial t_1(x^*)}{\partial f} N(x^*) = \lambda \left( \frac{dR}{df} - \frac{dC}{df} \right) \dots ④$$

$$\int_0^{x^*} \frac{\partial t_1(x)}{\partial P} n(x) dx + \frac{\partial t_1(x^*)}{\partial P} N(x^*) = \lambda \left( \frac{dR}{dP} - \frac{dC}{dP} \right) \dots ⑤$$

$$\int_0^{x^*} \frac{\partial t_1(x)}{\partial x^*} n(x) dx - \left( \frac{dt_0(x^*)}{dx^*} - \frac{dt_1(x^*)}{dx^*} \right) N(x^*) = \lambda \left( \frac{dR}{dx^*} - \frac{dC}{dx^*} \right) \dots ⑥$$

$$R(P, \gamma N(x^*)) = C(VL(x^*), \gamma N(x^*), f)$$

④式において、左辺は $f^*$ が増加することにより所要時間は短縮されるので、左辺 $<0$ となる。よって、左辺 $\neq 0$ 、 $\lambda \geq 0$ という条件より $\lambda > 0$ となる。したがって、 $\frac{dR}{df^*} - \frac{dC}{df^*} < 0$ となる。すなわち、 $f^*$ では限界収入が限界費用より低くなる。

また、 $R$ と $f$ の関係は、 $f$ が多くなっていくと利用者にとってはバス利用が便利になるので乗客が増え、 $R$ は増加し、 $C$ と $f$ の関係は、 $f$ が多くなっていくと運転手の人件費などが高くなるので $C$ は増加する。

⑤式において、左辺は $P$ が高くなると $\gamma$ が低下し、自家用車での通勤者が増加し、所要時間の増大をもたらすので左辺 $>0$ となる。したがって、左辺 $>0$ 、 $\lambda > 0$ より $\frac{dR}{dP^*} - \frac{dC}{dP^*} > 0$ となる。すなわち、 $P^*$ では、限界収入が限界費用より高くなる。

また、 $R$ と $P$ の関係は、 $P$ がある程度まで高くなっても収入増となるが、ある料金を境に収入減となり、 $C$ と $P$ の関係は、 $P$ が高くなっていくとシステムバス利用者が減少し、駐車場規模が小さくなるので $C$ は減少する。

⑥式が正(負)の値の場合、 $\hat{x}^*$ は収支均衡条件がない場合の $\hat{x}^*$ より都心(郊外)側の地点となる。

また、 $R$ と $x^*$ の関係は、 $x^*$ が郊外に行くときある位置までは $R$ は増えるが、そこを過ぎると減少していき、 $C$ と $x^*$ の関係は、 $x^*$ が郊外になるほど地価は低下するので $C$ は減少する。

#### 5. おわりに

本研究では、仮想都市を用いてP&Rシステム最適導入位置について考察した。今後の課題として、時間短縮効果以外の効果、例えばシステムバス導入による都市全体における排気ガスの増減等を、費用便益分析へ導入するなど、多方面からシステムバス導入が都市に与える効果の分析を行う必要性が挙げられる。

#### <参考文献>

- (1) 西村和雄：経済数学早わかり，日本評論社，1982
- (2) J. V. ヴァグナー：経済理論と都市，勁草書房，1987
- (3) 藤田昌久：都市空間の経済学，東洋経済新報社，1991