

## 42. パーク・アンド・ライドとロードプライシングによる TDM パッケージ施策の評価手法

An Economic Evaluation Method for TDM package policies : A Case of Park & Ride and Road Pricing

竹隈史明\*・溝上章志\*\*

Fumiaki Takekuma and Shoshi Mizokami

An economic evaluation model for TDM package policies composed of Road Pricing and P&R system is proposed. Our model is based on the urban economics, which has only one CBD and residential area along a corridor connecting from suburban area to CBD, in order to analyze the effect of TDM package policies not only in the closed but also in the open city, because we want to evaluate the effect of TDM policies as an urban management policy.

We can find following results; 1) The TDM package policy composed of two TDM policies is more effective than an individual policy in the total travel cost. 2) The TDM package policy is useful in the closed city rather than in the open city and is effective as the short-run urban management policy.

**Keywords :** transportation demand management , package approach , park & ride system , road pricing  
交通需要マネジメント、パッケージ・アプローチ、P&R、ロードプライシング

### 1. はじめに

慢性的な交通渋滞を緩和するために、国内、海外を問わず種々の交通需要マネジメント（以下、TDMと記す）施策の導入が検討されている。その中でもロードプライシング（以下、RP）とパーク&ライドシステム（以下、P&R）は実効性のある TDM 施策として、導入のための社会実験が各地で実施されている。従来、これらの TDM 施策は個別にその需要分析や効果の推計が行われてきた。しかし、単一の TDM 施策だけでは慢性化・深刻化した都市交通問題を解決することが難しいことから、モビリティを向上させるために選択可能な複数の交通手段を用意する、自動車利用者から徴収した混雑料金を還元して公共交通機関の整備を行うなどの視点から、幾つかの TDM 施策を同時に導入する方が効果的、かつ効率的であると考えられる。このような考え方はパッケージ・アプローチ<sup>1)</sup>と呼ばれ、自動車利用抑制策と公共交通機関利用促進策とを中心として、種々の効果的な組み合わせが検討されている。

しかし、これら TDM パッケージ・アプローチ施策に対する有効性の評価は実証的なものが多く、実際の TDM パッケージ施策に関する社会実験によって、直接的に効果を計測した例<sup>2)</sup>などがあるに過ぎない。また、幾つかのマイクロ交通シミュレーション<sup>3)</sup>による方法を除いて、定量的な評価手法を提案した研究は少ない。本研究では、仮想的な線上都市において、RPとP&Rとのパッケージ施策に対する都市経済学に基づいた交通需要予測・評価モデルを構築し、TDM パッケージ・アプローチの有効性の規範的検討を行うことを第一の目的とする。このとき、P&R 駐車場の整備財源は、P&R 利用者が支払う駐

車料金だけでなく RP 収入からも確保されるという財政パッケージを導入している点が本モデルの特徴である。

RPなどを導入した場合、人は交通だけでなくそれ以外の財の消費を含めた効用を最大化することから、長期的には交通手段の変更だけでなく居住地の移動や流入も生じるであろう。このような場合は、TDM 施策を単なる交通問題解決策と見なすだけではなく、住宅立地変動を内生化した都市政策の一つと位置付けて、その導入効果の評価すべきであろう。本研究では、長期的効果を反映できる開放、および短期的効果の評価する閉鎖両都市における TDM パッケージ施策導入効果の特性を比較検討することも目的としている。

2章では TDM パッケージ施策の評価モデルの基本仮定とモデルを概説する。3章では、本モデルの解法、および開放・閉鎖両都市での適用可能性について、数値計算による検証を行った。4章では、P&RとRPとのパッケージ施策の有効性を、単一施策導入時の機関分担率や総走行時間との比較を通して検証している。また、両都市における効果の発現の特徴や相違点などを検討した。



図-1 線上都市の設定

\* 学生会員 熊本大学大学院自然科学研究科環境土木工学専攻 (Kumamoto University)

\*\* 正会員 熊本大学工学部環境システム工学科 (Kumamoto University)

## 2. TDMパッケージ施策の評価モデル

### (1) 仮定と基本モデル

本研究では、効用水準  $U$  と世帯所得  $Y$  を外生的に与えて都市人口  $N$  の均衡値を内生的に求める開放都市と、都市人口  $N$  と世帯所得  $Y$  を外生的に与えて均衡効用  $U$  を内生的に求める閉鎖都市について、TDM パッケージ・アプローチの有効性の検討を行う。このとき想定した図-1の都市には以下のような仮定が設定されている。

- 1) 一本の道路に沿った単位幅を持つ長さ  $L_j$  の線状都市を想定する。
- 2) 全ての世帯は同質であり、全員が都心に通勤する。
- 3) 各地点は都心からの距離  $r$  を唯一の属性とする。利用可能手段は自動車 (CAR) と P&R (P&R)、およびバス (BUS) とする。
- 5) P&R 駐車場は都心から  $L$  の地点に設置され、利用者は P&R 駐車場料金を支払って都心まで通勤する。P&R 駐車場と同じ位置に引かれたコードラインより都心側では、自動車利用者に対して混雑の程度に応じて賦課金が徴収される直接賦課方式の RP が適用される。

以上の基本仮定のもとで、世帯と政府の行動は以下のように表される。

- a) 世帯：所得  $Y$  と地代  $R(r)$  のもとで、世帯効用を最大にする一般財と住宅財の量  $z$  と  $q$ 、および交通手段の選択を行う。この行動は次のように定式化される。

$$\text{Max: } U = u(z, q) \quad (1)$$

$$\text{s.t. } z + R(r) \cdot q + D(r) = Y \quad (2)$$

交通費用  $D(r)$  には利用可能手段による期待最小費用

$$D(r) = -\frac{1}{\theta} \ln \sum_m \exp(-\theta \cdot C^m(r)) \quad (3)$$

を用いることにする。ここで、 $C^m(r)$  は手段  $m$  の交通費用である。

- b) 政府：都市内における総走行時間を最小化するように、P&R 駐車場の位置  $L$  とその駐車容量  $C_p(L)$  を決定する。このとき、駐車場整備のための財源は、混雑料金と P&R 駐車場料金により調達される。これは以下のように定式化される。

$$\min_t F = \int_0^L \{ \sum_m P^m(r) \cdot t^m(r) \} \cdot n(r) dr \quad (4)$$

$$\text{s.t. } \int_0^L P^{P\&R}(r) \cdot n(r) \leq C_p(L) \quad (5)$$

$$\int_0^L \{ P^{CAR}(r) \cdot n(r) \cdot K_1 \} dr + Q^{P\&R}(r) \cdot K_2 \geq \text{cost}(L) \quad (6)$$

$P^m(r)$  は地点  $r$  における手段  $m$  の選択確率、 $t^m(r)$  は手段  $m$  による都心までの走行時間、 $n(r)$  は人口密度であるから、式(4)は総走行時間を表す。また、式(5)は P&R 利

用者による P&R 駐車場の容量制約である。

$Q^m(r)$  は地点  $r$  における手段  $m$  の総交通量、 $K_1$  と  $K_2$  は混雑料金と駐車場料金であり、それぞれ

$$K_1 = \int_0^L (MC_S(r) - MC_P(r)) dr \quad (7)$$

$$K_2 = k \cdot (L_f - L) \quad (8)$$

で定義される。 $k$  は都心からの距離に対する駐車場料金の比例定数である。したがって、式(6)は財源制約を表すことになる。ここで、 $MC_P(r)$  と  $MC_S(r)$  は地点  $r$  における私的限界費用と社会的限界費用であり、混雑料金式(7)はそれらの差によって定義していることから、自動車利用者はコードライン内側の各地点  $r$  ( $\leq L$ ) での混雑レベルに依存した社会的に最適な賦課金が徴収される。ここでは、私的限界費用関数として下記の BPR 型費用関数を採用する。

$$MC_P(r) = T(Q^{CAR}) = T_0 \{ 1 + \alpha (Q^{CAR}(r)/C)^\beta \} \quad (9)$$

$T_0$  はゼロフロー時の走行時間、 $C$  は道路交通容量、 $\alpha, \beta$  はパラメータである。式(8)は、P&R 駐車場料金は都心からの整備位置に反比例すると仮定したものである。ただし、1 台当たりの駐車場整備単価を  $v$  とするとき、駐車容量  $C_p(L)$  とその整備財源  $\text{cost}(L)$  との関係は

$$C_p(L) = \text{cost}(L)/v \quad (10)$$

が成立するようにする。

### (2) 最適解

世帯の効用関数として、下記のような Cobb-Douglas 型効用関数

$$u(z, q) = a \cdot \ln z + b \cdot \ln q, \quad a, b \geq 0 \quad (11)$$

を用いると、開放都市における一般財と住宅財の量  $z$  と  $q$  の均衡解は、

$$z(r) = \left( \frac{a}{a+b} \right) \cdot (Y - D(r)) \quad (12)$$

$$q(r) = \left( \frac{a}{a+b} \right)^{\frac{a}{b}} \cdot (Y - D(r))^{\frac{a}{b}} \cdot \exp\left(\frac{U}{b}\right) \quad (13)$$

となる。したがって、地代は

$$R(r) = \left( \frac{a}{a+b} \right)^{\frac{a}{b}} \cdot \frac{a}{a+b} \cdot (Y - D(r))^{\frac{a+b}{b}} \cdot \exp\left(-\frac{U}{b}\right) \quad (14)$$

となる。また、人口密度  $n(r)$  は住宅面積  $q(r)$  の逆数として下記のように表される。

$$n(r) = \left( \frac{a+b}{a} \right)^{\frac{a}{b}} \cdot (Y - D(r))^{\frac{a}{b}} \cdot \exp\left(-\frac{U}{b}\right) \quad (15)$$

一方、閉鎖都市の場合は、与えられた  $N$  に対して上式を  $U$  に関して解き、それを式(12)~(14)に代入することによって、それぞれの未知変数に対する均衡解を得る。

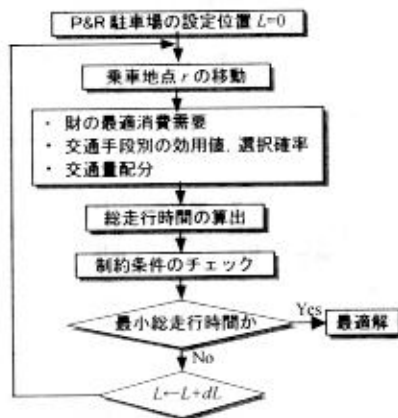


図-2 求解のアルゴリズム

$$z(r) = \left( \frac{a}{a+b} \right) \cdot (Y - D(r)) \quad (16)$$

$$q(r) = (Y - D(r))^{\frac{a}{b}} \cdot \left( \frac{S}{N} \right) \quad (17)$$

$$R(r) = \left( \frac{b}{a+b} \right) \cdot (Y - D(r))^{\frac{a+b}{b}} \cdot \left( \frac{N}{S} \right) \quad (18)$$

$$n(r) = (Y - D(r))^{\frac{a}{b}} \cdot \left( \frac{N}{S} \right) \quad (19)$$

ここで、 $S = \int_0^L (Y - D(r))^{\frac{a}{b}} dr$  である。

P&R 駐車場まで来たそれより郊外側から発生する自動車利用者はそのまま自動車を利用するか、もしくはP&Rに転換するかを、

$$V^{CAR}(r) = -B_1 \cdot T \cdot L - B_2 \cdot \int_0^L (Q^{CAR}(r)) dr - B_3 \cdot K_1 \quad (20)$$

$$V^{P\&R}(r) = -B_1 \cdot A \cdot L - B_2 \cdot \int_0^L T^{BUS} dr - B_3 \cdot K_2 \quad (21)$$

を効用値とする以下のBLモデルによって選択する。

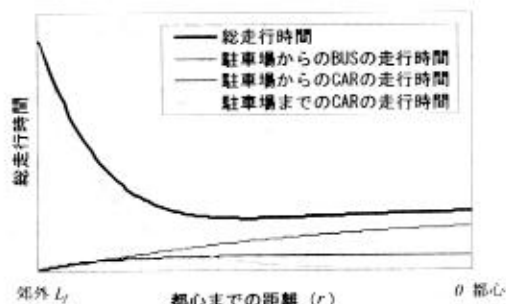


図-3 総走行時間の最小値

$$P^*(r) = \exp(V^*) / \sum_n \exp(V^n) \quad (22)$$

ここで、 $T, A$ は単位距離当りの自動車走行費用とバス料金、 $B_1, B_2, B_3 (>0)$ はそれぞれ、走行費用と走行時間、および混雑料金とP&R駐車場料金を効用に変換するパラメータである。 $T^{BUS}$ はバスの走行時間であり、自動車の混雑レベルに依存せず一定と仮定している。一方、P&R駐車場より都心側から発生する交通需要は、自動車かバスのいずれかを同様の規範で選択する。ただし、それぞれの効用は下記ようになる。

$$V^{CAR}(r) = -B_1 \cdot T \cdot r - B_2 \cdot \int_0^L (Q^{CAR}(r)) dr - B_3 \cdot K_1 \quad (23)$$

$$V^{BUS}(r) = -B_1 \cdot A \cdot r - B_2 \cdot \int_0^L T^{BUS} dr \quad (24)$$

### 3. 開放・閉鎖両都市における比較静学分析

#### (1) 解法、およびモデルの適用可能性

本モデルは、下位の立地・交通需要予測問題と上位の最適P&R駐車場位置決定問題とで構成される2段階最適化問題となっている。ここでは、両問題を交互に繰り返して解く。そのアルゴリズムの概略を図-2に示す。得

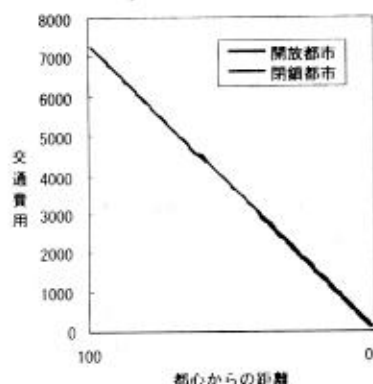


図-4 交通費用

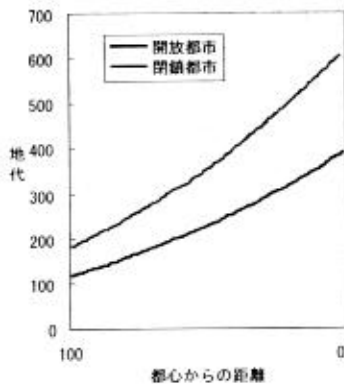


図-5 地代

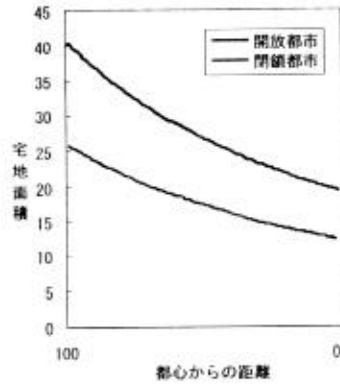


図-6 宅地面積

られた総走行時間を図-3に、最適なP&R駐車場地点Lに対する両都市の交通費用と地代、および宅地面積を、それぞれ図-4～図-6に示す。このとき用いた各種パラメータの設定値を表-1に示している。ただし、両都市の特性を比較するために、閉鎖都市における最適効用水準を閉鎖都市の効用水準として外生的に与えている。したがって、人口規模は両都市で異なってくる。効用関数(11)は1次同次、混雑料金やP&R駐車場料金と走行時間費用換算値や運賃との相対比は2.0、リンクコスト関数式(9)には実用的な修正BPR型、混雑度はやや低めではあるが最大0.6と現実的な値となっている。また、式(20)などから得られる知覚効用値の絶対値、および分散パラメータのオーダーなどは現実的な範囲にある。よって、ここで設定した各種パラメータの値は非現実的な現象を再現するようなものではないと考えられる。

図-3より、総走行時間は都心から離れるに従って減少し、地点Lで最小値をとった後に再び増加するような原点に対して凸な関数となっており、このシミュレーション設定条件では解の一意性が保証されている。また、合成費用と宅地面積は都心に向かって単調に減少し、逆に地代は単調増加する。一本の道路に沿った単位幅の都市を想定しているため、人口密度は宅地面積の逆数で与えられるから都心に向かって単調増加となる。よって、世帯は地代や交通費用が高くて、走行時間の小さい都心側にも立地することになる。

両都市の比較を行うと、地代は開放都市の方が小さくなっている。これは、開放都市においては人口の出入が自由であるためである。これらは定性的にも妥当な結果を示しており、本モデルとパラメータ設定値はTDM施策を都市政策の一つと位置付けてその効果を評価するための規範モデルとしても有効に機能するであろう。

## (2) 比較静学分析の適用可能性

本モデルは2段階最適化問題で構成されるため、各種TDM施策変数に対する解析的な比較静学分析<sup>9)</sup>を行うのは容易でない。そこで、両都市に対して、1)道路交通容量と2)駐車場料金を、それぞれ設定値から1.0%だけ改善した場合の各種評価値の微係数の符号を数値的に計算した結果を表-2と表-3に示す。ここで、( )内の符号はP&R駐車場から都心までの、その他は郊外からP&R駐車場までにおける評価変数の微係数を示す。ただし、ここでの微係数は表-1に示したパラメータ設定値に対するものであり、異なる設定値に対して常にこれらの結果が出現するわけではないものの、開放、閉鎖都市の特性の違いは検証できると考えられる。

両都市の違いは、交通容量を増加させた場合の都心側

表-1 各種パラメータの設定値

$B_1 = B_2 = 0.20, B_3 = 0.40, a = 0.625, b = 0.375$
$\alpha = 2.62, \beta = 5.0, \theta = 0.068, Y = 20,000, U = 7.0$
$N = 6.0, k = 0.001, T = 9.0, A = 9.0, T_n = 1.2$
$C = 10.0, v = 1.0, L_f = 100$

表-2 開放都市の特性

	総走行時間	通勤費用	地代	宅地面積	機関分担率		
					CAR	BUS	P&R
交通容量	-	(+)	(-)	(+)	(-)	-	-
駐車場料金	+	(+)	(-)	(+)	(+)	-	+

表-3 閉鎖都市の特性

	総走行時間	通勤費用	地代	宅地面積	機関分担率		
					CAR	BUS	P&R
交通容量	-	(+)	(-)	(+)	(+)	-	-
駐車場料金	+	(+)	(+)	(-)	(+)	-	+

の自動車交通量と、駐車場料金を減少させた場合の都心側の地代と宅地面積である。まず、前者に対して、閉鎖都市の場合、交通容量拡大によって都市全体の自動車の効用水準が上がり、自動車の交通量が増加する。しかし、開放都市では外生的な効用水準を維持するために、郊外側に人口流入が生じて自動車交通量が増加する。これに対して、都心側では混雑が生じることによって効用水準が減少して人口流出が起り、自動車交通量は減少すると考えられる。一方、後者に関しては、両都市において郊外側ではP&R利用者が増加し、自動車交通量が減少している。開放都市では都心側での人口流出が生じ、地代が減少するが、閉鎖都市では人口が一定のため、都心側にも立地が生じ、地代が増加したと考えられる。これによって宅地面積は都心側において減少する。

以上のように、開放、閉鎖両都市における定常状態でのTDM施策の効果を比較可能であることから、本モデルは各種TDM施策の都市政策としての有効性を評価するモデルとして利用可能といえる。

## 4. TDMパッケージ・アプローチ施策の評価

### (1) パッケージ・アプローチ案

図-3のように総走行時間が最小となる地点にP&R駐車場を設置し、表-4に示すような3つの施策に対する都心における各交通機関分担率と総走行時間についての比較評価を行う。この場合、各施策において最適解が異なるため、P&R駐車場の位置も異なってくる。

表-4 TDM施策

施策	概要
施策-1	P&Rシステムのみを単独で導入
施策-2	P&RとRPとを組み合わせたパッケージ施策の導入
施策-3	施策2と同時に、自動車の都心側交通容量削減

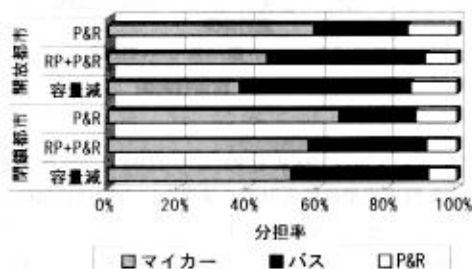


図-6 都心における機関分担率

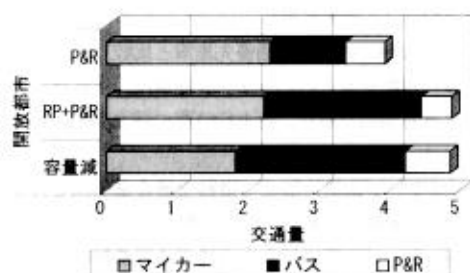


図-7 都心における交通量

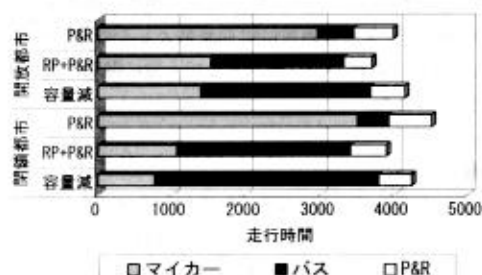


図-8 都心における総走行時間

施策-1は公共交通利用促進施策の一つであるP&Rのみの単独のTDM施策であり、これに自動車利用抑制施策であるRPを組み合わせたものが施策-2のパッケージ・アプローチである。この施策-2に、P&Rの導入効果を向上させるバスレーンの導入を想定してP&R駐車場より都心側の道路交通容量を削減して自動車利用を抑制する施策が施策-3である。施策-1ではP&R駐車場の整備財源をP&R駐車料金だけで賄うのに対して、施策-2と3ではこれに加えてRPからの賦課金も投入する財政補助の視点からのパッケージ・アプロ

ーチとなる。

## (2) パッケージ・アプローチの効果

最適なP&R駐車場の位置は、開放都市では施策-1、-2、-3の順にL=32、53、55、閉鎖都市はL=27、63、70となり、パッケージ化すると両都市ともより郊外側となる。また、開放都市と比較して閉鎖都市では施策-1の場合はより都心側に、パッケージ施策の場合にはより郊外側になる。図-6は各施策導入による都心部の機関分担率である。これより、都心における自動車分担率の削減効果は両都市とも施策-1よりも施策-2の方が大きい。また、施策-3では自動車分担率はさらに減少し、開放都市ではP&Rの分担率が増加する。自動車分担率の削減効果は、単一のTDM施策よりもパッケージ施策の方が顕著に表われるが、その原因は主として最適P&R駐車場位置の郊外化により、P&R駐車場より都心側の交通需要のバスへの転換が生じたためである。この自動車分担率の削減効果は閉鎖都市でよりも開放都市の方がより大きいのは、図-5に示したように、開放都市における人口規模が人口の流出によって閉鎖都市よりも小さくなったことが主要な要因と考えられる。

閉鎖都市においては人口が一定のため、施策ごとの効果の比較は分担率の比較によって可能であるが、開放都市においては施策ごとに都市全体の人口規模が異なってくることから一概には比較できない。そこで、交通量で施策の効果と比較した結果を図-7に示す。施策-2の導入により都市内人口は施策-1よりも20%程度増加して効率的な都市システムとなる。しかし、自動車交通量にはほとんど変化はなく、人口増に伴う交通需要は都心側のバスによって分担される。施策-3では施策-2よりもP&R需要が増加し、その分だけ自動車需要はさらに減少することができるという結果が得られた。

図-8は各施策導入時の評価関数である人ベースの総走行時間を示す。両都市とも、施策-1よりも施策-2の方が総走行時間は減少しており、かつその減少率は自動車分担率の減少率より大きい。これは、バス交通需要の増加に伴う走行時間の増加比率よりも自動車交通量の減少による走行時間の減少比率の方がより大きいからであり、パッケージ施策の有効性を示している。施策-3では、施策-2と比較して自動車による走行時間は若干、減少するものの、バスの走行時間は混雑レベルに依存せず一定のために自動車よりも走行時間が大きくなり、都市全体での総走行時間は増加する結果となった。この原因は、P&R利用者が増加するためであり、郊外側立地が増加する開放都市でより顕著になる。

図-8からは、パッケージ施策である施策-2の総走行時



図-9 開放都市における人口分布

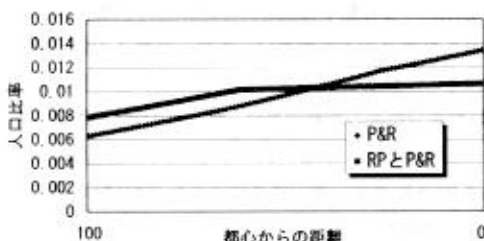


図-10 閉鎖都市における人口分布

間の削減効果は閉鎖都市の方が大きいこともわかる。また、開放都市では施策-2 に道路容量削減という自動車利用抑制策を追加した施策-3 の総走行時間は施策-1 よりも増加しており、閉鎖都市だけに総走行時間の削減効果が発現しているのが特徴である。図-9 と図-10 は各都市における均衡時の人口分布であるが、閉鎖都市の方が P&R の最適立地点がより郊外側となり、P&R 駐車場内側の人口が増加するのがその理由である。以上より、P&R や RP などの TDM 施策は人口の流入のない閉鎖都市で、つまり短期施策として有効であるといえる。

P&R 駐車場の整備財源は、P&R 駐車場料金だけでなく、RP の収入からも補填されるという財政パッケージの視点から、本パッケージ施策の適用可能性を検討する。ここでは、P&R 駐車場料金の軽減による総走行時間の変化について検討する。図-11 は P&R 駐車場料金を 25% 軽減させたときの総走行時間であるが、両都市とも総走行時間は増加しており、必ずしも P&R の優遇策は効率性を向上させるとは限らない。また、このとき、開放都市では主として郊外側自動車利用者からの P&R 料金で、閉鎖都市では増加した P&R 利用者の駐車場料金によって P&R 駐車場の整備財源が確保されるという結果となり、財政パッケージとしても有効に機能している。

## 5. おわりに

本研究では、TDM パッケージ施策の有効性を検討するため、都市経済学的手法に基づいた規範的評価モデルを

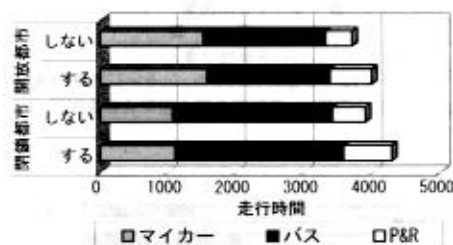


図-11 総走行時間

構築した。本モデルは、P&R と RP との TDM パッケージ施策を、P&R 駐車場整備整備財源の確保という財政的制約も考慮しながら、導入効果を検討することが可能である。さらに、TDM 施策を交通問題解決のための単なる交通施策だけでなく、住宅立地変動を内生化した都市政策の一つに位置付けてその導入効果を評価することも可能である。その結果、以下のような成果を得た。

- 1) P&R のような単一の公共交通優先施策と比較して、RP による自動車利用抑制策とのパッケージ施策は、自動車交通の削減により有効であり、総走行時間の減少効果も大きい。
- 2) TDM パッケージ施策に加えて道路交通容量削減を行うことにより、自動車の削減効果はより顕著に表われる。
- 3) TDM パッケージ施策に加えて道路交通容量削減を行うことにより、自動車分担率の削減は顕著に現れる。
- 4) TDM パッケージ施策を導入した場合の総走行時間の削減効果は開放都市よりも閉鎖都市の方が顕著に現れることから、TDM パッケージ施策は短期施策として有効である。
- 5) P&R と RP は財政パッケージとして十分に機能する可能性が見いだされた。

## 参考文献

- 1) 山中英夫・小谷通泰・新田保次「街づくりのための交通戦略—パッケージ・アプローチのすすめ—」, 学芸出版社
- 2) 中川大・松中亮治・芦澤宗治・青山吉隆 (2001) 「都市内交通シミュレーションを用いたパッケージ施策の便益計測に関する研究」, 第 36 回日本都市計画学会学術研究論文集, pp.583-588
- 3) 久保田尚・高橋洋二・坂本邦宏・御座元俊二 (2000) 「鎌倉の歴史的都心部における交通需要マネジメント複合実験」, 第 35 回日本都市計画学会学術研究論文集, pp.823-828
- 4) Richard Arnott (1998) Congestion Tolling and Urban Spatial Structure, *Journal of Regional Science*, Vol.38, No.3
- 5) 金本良嗣 (1997): 都市経済学, 東洋経済新報社。