

# 駐車と回遊行動を考慮した一次元都市における静的配分

戸叶 洋道<sup>1</sup>・北澤 俊彦<sup>2</sup>・羽藤 英二<sup>3</sup>

<sup>1</sup>学生員 工修 東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻（東京都文京区本郷七丁目三番地一号）  
E-mail: tokano@bin.t.u-tokyo.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 阪神高速技研株式会社

<sup>3</sup>正会員 工博 東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻（東京都文京区本郷七丁目三番地一号）  
E-mail: hato@bin.t.u-tokyo.ac.jp

本研究は、移動時間や駐車コスト、駐車料金、滞在時間等を含めた総合的な移動者の効用を考えることによって、駐車料金施策やフリンジパーキング等の都市に関する課題をとらえることを目的とし、一次元都市における交通手段選択の静的配分問題としての理論的枠組みを示したものである。

**Key Words** : static, distribution, parking, highway, train, optimization, user equilibrium

## 1. はじめに

### (1) 研究の背景

多くの静的配分問題では、総所要時間のみをコストとして扱い、そのコストに従って移動者が交通手段を決定するというような考え方をしている。しかし、近年、回遊行動や歩行者空間の創出といった事柄など、総所要時間とは関係ないと思われる事にも注目が集まるようになってきている。つまり、単純に総所要時間のみだけではなく、その他の要因まで考えた配分問題を解く必要があると言える。

本研究は、具体的には移動の後の駐車行動や都市での滞在などを含めたコストを総合的に考え、静的配分問題として考えている。

### (2) 研究の目的

今回、私達は駐車行動や都市での滞在を考えた静的配分問題の理論的枠組みを示している。またそれとは別に、駐車場の利用行動に関して、アンケートやプローブパーソン調査などによって、駐車料金割引などによって交通行動がどのように変化するかという実証実験を行っている。つまり、理論的な枠組みと実証的な実験の双方を行っており、最終的にはこれらを統合した総合的都市政策評価ツールを考えることを目的としている。

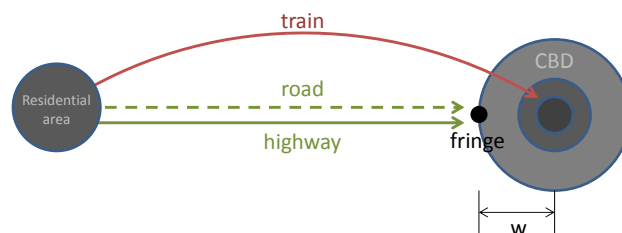


図-1 単一起終点一次元都市

## 2. 一次元都市での交通手段利用者配分

### (1) 想定する都市構造と交通行動

本研究では、起終点が一つずつ存在する図1のような一次元都市を想定している。移動者は、鉄道か高速道路、一般道を利用し、自宅から都心部へと出かけていく。今回は通勤や通学といった義務的なトリップではなく、私的なトリップを対象としている。その理由は、義務的なトリップの場合、駐車場は会社の駐車場である場合が多いため駐車場施策がとりにくいことや、回遊行動なども私的なトリップに比べて極端に少ないと考えられるからである。終点である都心部には歩行者専用空間が存在し、自動車でも都心部にアクセスする場合、その手前のフリンジで駐車をして徒歩で距離 $w$ だけ中心部に向かって歩く必要があるとする。本来であれば起終点のペアは一つではなく、都心部に近い人もいれば遠い人もいるなど

起点も終点もばらばらに分布しているが、今回は簡単のためシンプルな都市構造を想定している。

(3) 鉄道・自動車利用者均衡  
a) 鉄道、自動車の人数と均衡

起点から終点に向かう人の総数を $N$ とする。そのうち、鉄道を利用する人数を $\tilde{N}$ 、自動車を利用する人数を $\bar{N}$ とする(1a)。

鉄道のコストを $C_{train}$ とすると、これは時間帯によらず一定とし、都心の回遊空間の広さと鉄道利用者数による関数とする。これは、所要時間や料金等是不変であることや、鉄道を利用する人が多いことによる混雑の不効用、都心の回遊空間の広さによる効用が存在すると思われるためである。

自動車利用者の平均コストを $C_{car}$ とすると、式のようにこれが鉄道コスト $C_{train}$ と等しくなるような $\tilde{N}$ と $\bar{N}$ であるとき、均衡状態となる。

$$\tilde{N} + \bar{N} = N \quad (1a)$$

$$C_{car}(\bar{N}) = C_{train}(\tilde{N}) \quad (1b)$$

b) 鉄道利用者のコスト

鉄道利用者のコストは、アクセスイグレスを含めた所要時間 $TT$ と料金 $TF$ 、 $\tilde{N}$ に比例する混雑のコスト、回遊効用 $w$ からなる。

$$C_{train} = TT_{coe} * TT + TF_{coe} * TF + TN_{coe} * \tilde{N} - TW_{coe} * w \quad (2a)$$

c) 自動車利用者のコスト

自動車利用者のコスト $CC(t)$ は時間帯によって異なると考えられるので、フリンジ駐車場に到着する時刻 $t$ による関数である(3a)。自動車のコスト関数は、所要時間 $T(t)$ 、駐車コスト $PC(t)$ 、フリンジの位置による徒歩距離 $w$ 、高速道路利用の場合は高速料金 $hf$ 、そして都市に滞在する効用 $U(t)$ とする。ここで、単位時間あたりにフリンジに到着する車の台数を $r(t)$ とすると、これは道路の混雑度合とも考えられるので、 $T(t)$ は(3b) (3c)のように $r(t)$ を用いて表される。所要時間は高速道路 $T_1(t)$ と一般道 $T_2(t)$ で異なる。

$$CC(t) = \alpha T(t) + \beta PC(t) - \gamma U(t) + \theta w + hf \quad (3a)$$

$$T_1(t) = ar_1(t) + b \quad (3b)$$

$$T_2(t) = cr_2(t) + d \quad (3c)$$

また、駐車コスト $PC(t)$ は時刻 $t$ に都心部にいる人の数に比例しているものとする。これは、駐車場の待ち行列に加わったり駐車場がいっぱいで他の駐車場を探さなければならぬといったときに生じる不効用として考慮している。中心部に人が多くいるほど、待ち行列に並んだり駐車場探索をする時間が増加するということである。中心部にいる人の数ということであれば、当然到着する人数だけではなく、都心部から離れる人についても考える必要がある。つまり、朝早く訪れてすでに中心部を離

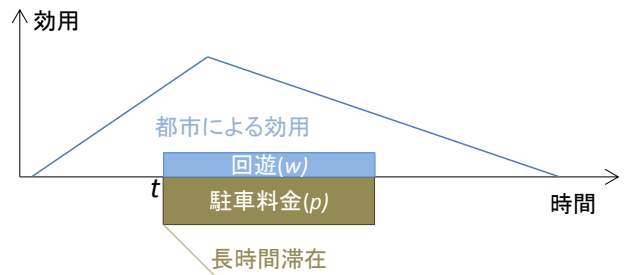


図-2 滞在効用、不効用

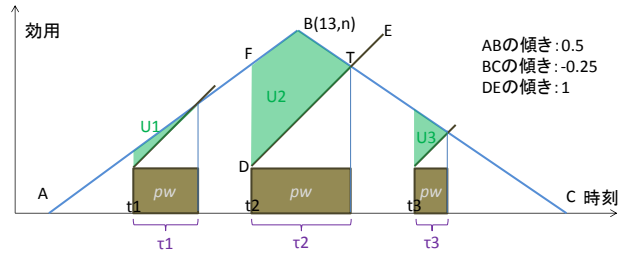


図-3  $U(t)$ と $\tau(t)$

れた人がいた場合、その人はその後の駐車コスト $PC(t)$ に影響を与えることは無いということである。それは滞在時間を考えるということでもある。その点に関しては最後の滞在効用の項と同時に説明をする。

d) 滞在効用 $U(t)$ と滞在時間 $\tau(t)$

滞在効用 $U(t)$ は、都市に滞在しているときに得られる効用と被る不効用があり、得られる効用よりも不効用の方が大きくなったときに帰宅をするという仮定に基づいている。さて、都市に滞在しているときに得られる効用は、都市そのものが持つ魅力と、回遊をすることによって得られるものの二つがある。また、不効用としては、一つの場所に長時間いることによる魅力の減衰、つまり飽きの部分と、駐車場のコストの二つである。

図2は、この滞在効用の基本的な考え方を示したものである。横軸にフリンジに到着する時刻 $t$ をとり、縦軸の正の部分が効用、負の部分が不効用を意味している。回遊による効用と駐車料金による不効用は、どちらも一定とすると、これらは一つにまとめて $pw$ とおける。時刻 $t$ に到着した人の滞在時間 $\tau(t)$ は、時刻 $t$ から増加する不効用が効用を超える時点までである。

図3は、図2の不効用を $t$ 軸対象に移動したものであるが、時刻 $t_2$ に都心部に着いた場合、都市の魅力の曲線 $ABC$ と、不効用の直線 $DE$ との交点 $T$ まで滞在するということである。ただし、直線 $AB$ 、 $BC$ 、 $DE$ の傾きはそれぞれ $0.5$ 、 $-0.25$ 、 $1$ とする。また、その間の滞在効用 $U(t)$ は、滞在している間の効用から不効用を差し引いたものなので、結局図の四角形 $FBTD$ の面積ということになる。

ここで、都市に滞在していることで得られる効用を表

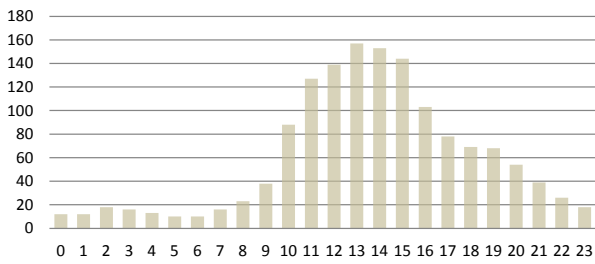


図-4 時間帯別都心滞在人数(人)

す曲線を、13時を頂点とする山型としている理由として図-4を示す。本研究にさきがけ、大阪都心部における私用トリップでの駐車、滞在行動に関するアンケートを行っている。アンケート方法はWeb方式で、12月22日から28日にかけて行った。有効回答数は361であり、このアンケートにおける大阪都心部とは、東西はなにわ筋と新御堂筋に囲まれ、南北は中津駅と堂島川に囲まれたエリアである。図-4は、アンケート結果から大阪都心部にいる人数を時間帯ごとに集計したものであるが、これを見ると朝8時ごろから増加し始め、10時にさらに大きく増加し、13時に最も高くなり、それからなだらかに減少していることがわかる。これは、都心部において店などがあまり開いていない時間帯には人は少なく、店が開く10時に大きく増加しているということであろう。また、13時や19時あたりに盛り上がりが見られるが、これは食事をするという明確な目標があり、滞在することの効用が高い時間帯であると言える。つまり、都市に滞在する魅力が大きい時間帯に多くの人が集まっているのではないかと考えられ、都市の魅力度として都市の滞在人数とほぼ同じ形を採用している。

#### e) 時間帯ごとの自動車コスト関数 $CC(t)$

図-3を見ると、時刻 $t$ によって $\tau(t)$ や $U(t)$ が以下の三つの場合に場合分けできることがわかる。

- 1)  $-2n + 2p + 13 < t \leq -n + p + 13$
- 2)  $-n + p + 13 < t \leq 13$
- 3)  $13 < t \leq 4n - 4p + 13$

1) 2) 3)の各場合について $\tau(t)$ 、 $U(t)$ 、 $t'$ を計算することが出来る。 $t'$ は、時刻 $t$ に帰路に着く人がフリンジに到着した時刻を示している。つまり、時刻 $t$ にフリンジに着いたとき、時刻 $t'$ から時刻 $t$ までにフリンジに到着した人が駐車をしており駐車コストに影響を与えているが、時刻 $t'$ 以前に到着していた人はすでに帰っているために駐車コストに影響を与えていないということである。また、各時間帯の境界の時刻をそれぞれ $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_3$ 、 $t_4$ とし、最初の人と最後の人フリンジに到着する時刻を $t_s$ 、 $t_e$ とする。

以上を踏まえ、時間帯ごとの高速道路、一般道路の自動車コスト関数 $CC_n^i(t)$ を求めることが出来る。

#### f) 自動車利用者間均衡

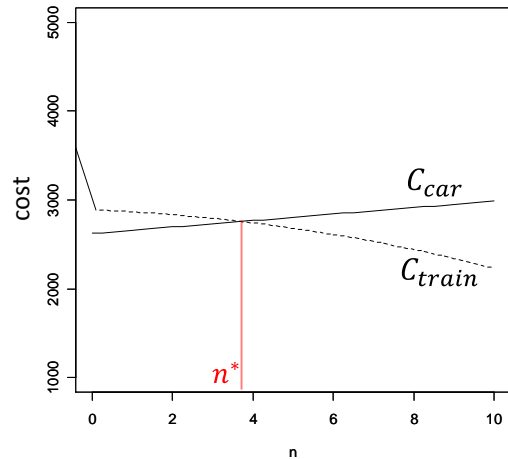


図-5  $n$ を変化させた時の鉄道コストと自動車コスト

今回の均衡では、鉄道と自動車利用者の均衡と同時に、自動車利用者間での均衡を仮定する。つまり、各時間帯について自動車コスト関数 $CC(t)$ が一定となるということである。これは、 $CC(t)$ が以下の式(4a)を満たすということであり、その条件から時間帯ごとの到着台 $r(t)$ を求めることができる。

$$CC'(t) = 0 \quad (4a)$$

#### g) 平均自動車コスト $C_{car}$

前項で求めた $r(t)$ より、各時間帯での自動車利用者数、そして自動車利用者総数 $\bar{N}(n)$ を式(5a)のように求めることが出来る。また、一人当たり時間帯ごとのコストもわかっているので、自動車利用者総数 $\bar{N}$ すべての平均の自動車コスト $C_{car}$ が式(5b)で与えられる。

$$\int_{t_s}^{t_2} r_{1+2}^1(t) dx + \int_{t_2}^{t_3} r_{1+2}^2(t) dx + \int_{t_3}^{t_e} r_{1+2}^3(t) dx = \bar{N} \quad (5a)$$

$$\frac{\sum_1^3 (CC^i \bar{N}_{1+2}^i)}{\sum_1^3 \bar{N}_{1+2}^i} = C_{car} \quad (5b)$$

#### h) 鉄道・自動車利用者均衡

(1b)式のように、鉄道と自動車を利用する人数によってそれぞれの平均コストが変化し、それが等しくなるような $\bar{N}$ 、 $\bar{N}$ が均衡点となる。ここで、(5a)式で見たように $\bar{N}(n)$ は $n$ の関数であり、(1a)式より $\bar{N}$ も $n$ の関数となる。つまり、均衡点は、式を満たす $n$ となる。

$$C_{car}(n) = C_{train}(n) \quad (5a)$$

### 3. 数値計算例

各パラメータを適当に設定し、数値計算を試みた。政策変数として、都心フリンジ間の距離 $w$ と、駐車場の料金 $p$ を変化させて均衡解や総コスト等を観察した。

#### (1) 均衡解

図-5は、 $w$ 、 $p$ を固定し、 $n$ を変化させた時の鉄道コスト

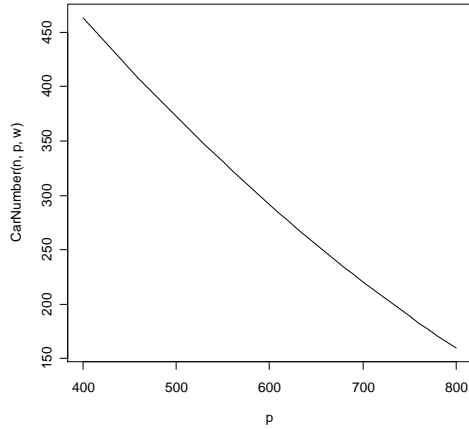


図-6  $w = 400$ の時の均衡

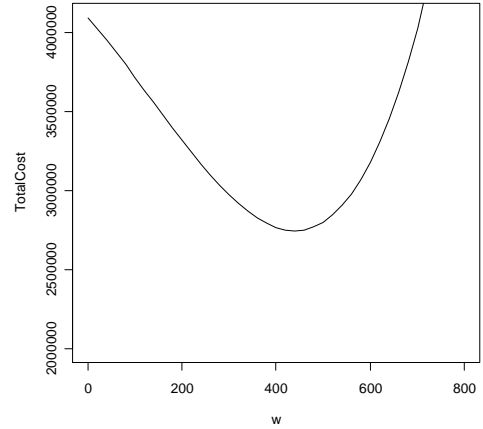


図-8  $n, p$ を固定した時の総コスト

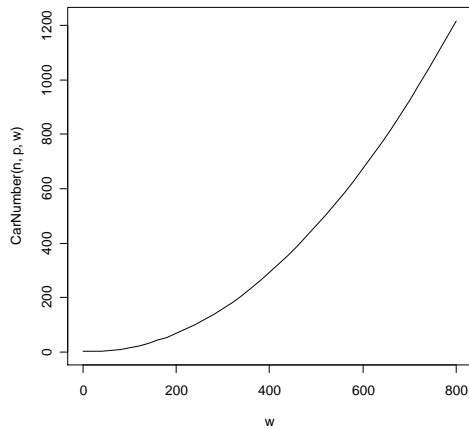


図-7  $p = 600$ の時の均衡

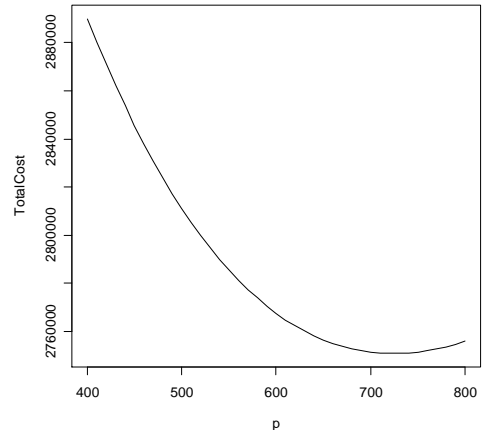


図-9  $n, w$ を固定した時の総コスト

と自動車コストである。 $n$ が上昇することで自動車利用者が増加し、コストが上がっている。また、同時に鉄道利用者が減少するためコストが下がっている。交点 $n^*$ の時、両者のコストは等しくなり、均衡状態となる。

## (2) 均衡の変化

図-6と図-7は、それぞれ $w, p$ を固定した時の、均衡時の車の台数を示している。図-6を見ると、駐車料金 $p$ を上げると車の利用者が上がっていることがわかる。これは非常に直観にあった結果である。図-7を見ると、回遊空間が広がることによって車の台数が増えていることを示している。ただし、 $w$ の値が小さい区間ではそれほど増えていかないこともわかる。これは、自動車のコストに対して $w$ が、徒歩距離の増加に比例して正に働き、滞在効用の増加として二乗のスケールで負に働いているため、 $w$ が大きくなるにしたがって効用として大きく効いてくるということが関係していると考えられる。このことから、移動の後の滞在の効用までを考慮することによって、回遊空間の設置、拡大が必ずしも自動車利用者にと

って不効用とならないことを示した。

## (3) 全体のコスト

図-8と図-9は、それぞれ $w, p$ 以外の数値を固定し、 $w, p$ を変化させた時の全体のコストを表している。これを見ると、どちらのグラフもある $w^*, p^*$ で最小値をとることがわかる。つまり、需要と回遊空間の範囲がわかっている場合の最適な駐車料金と、需要と駐車料金を固定した場合の最適な回遊空間の範囲を示していると言える。ただし、 $n$ を固定しているためにこれは均衡配分にはなっていない点に注意したい。

## 4. 結論と今後の課題

### (1) 結論

本研究では、駐車行動や滞在といった、移動の後のアクティビティまで含めた交通量の静的配分の定式化を行った。

鉄道のコストは全時刻で一定とし、回遊空間の範囲と

鉄道利用者総数の関数とした。また、自動車利用者のコストは時刻によって変動するとして、まずは時刻ごとの、単位時間当たり来街者の量を求め、それを積み重ねて時間帯ごとの自動車利用者総数を求め、全時間での平均の自動車利用コストを算出した。そしてそれらが等しくなるような均衡点を算出することができた。

## (2) 今後の課題

今回は利用者均衡(User Equilibrium:UE)モデルとして解いたが、やはり人間の行動はある程度観測できない要素によって確率的に決まっている部分があり、より現状再現性の高い結果を期待できる確率的利用者均衡(Stochastic User Equilibrium:SUE)モデルに、前述した実証実験の結果なども踏まえながら拡張していくことを目標とする。

今回のモデルでは単一起終点の都市を想定したが、現実的には起点も終点もばらついている。例えば今回の例

では都心部の回遊空間を広げても自動車利用が減らない場合があるとしたが、直接駐車場を持っているような郊外型のショッピングセンターが別の場所にある場合でも同様の結果が得られるのだろうか等、やはり単一起終点の都市では考慮しきれない問題が存在する。

また、今回のモデルでは鉄道コストを時間一定とし、自動車のコストも全時間で平均することによって、完全に静的なモデルとして考えたが、やはり現況再現性を考えれば動的なモデルや準動的なモデルの方が優れているのではないかと考えられる。

## 参考文献

- 1) Xiaoning Zhang , Hai Yang , Hai-Jun Huang : Improving travel efficiency by parking permits distribution and trading : Transportation Research PartB , volume45 , issue7 , pages1018-1034