

ロードプライシングによる交通量の制御

慶應義塾大学 慶應義塾大学 *小池 聖一郎 KOIKE Seiichiro
 01107680 栗田 治 KURITA Osamu

1. はじめに

道路渋滞、交通事故、また最近特に注目される地球温暖化といった、自動車交通に起因する都市問題がある。このような問題の解消や改善のため、自動車交通を適正な水準にコントロールすることが現代社会において緊急に求められているように思われる。自動車交通をコントロールする方策として、道路容量の拡大といった供給面の施策と並んで、需要側の行動に抑制的にはたらく各種の施策、なかでもロードプライシングは有望な施策として注目を集めるようになった。しかしながら、現在、渋滞対策ないし環境対策の視点から、自動車交通をコントロールするための方策として、ロードプライシングが実施されている例は非常に少ない。都市内での実施例は、シンガポールとノルウェーのみである。また、フランスのある有料道路会社は都市間高速道路において、混雑時料金の徴収を行っている。

本研究では、“都心部に乗り入れる際に賦課金を徴収する”としたモデルにおいての都市内交通量について議論し、ロードプライシングを都市に適用する際の何らかの知見を得ることを目的とする。

2. 議論の準備

対象地域は1次元とし、原点O(都心)を端点とする正のx軸で与える。路線上の区間[0, s]をエリア1、(s, L]をエリア2とする。x=sに料金所があり、この点を原点Oの向き(負の向き)に通過する時に料金を徴収される。



図1: 地域 [0, L] 上の設定.

以下を定義する。

- $x_1[x_2]$ = (移動の起[終]点), $x_1, x_2 \in [0, L]$; (1)
- $\rho(x)$ = (人口密度関数), $0 \leq x \leq L$; (2)
- (x_1, x_2) = (x_1 から x_2 へのトリップ) $\in [0, L]^2$; (3)
- $w(x_1, x_2)$ = (x_1 と x_2 の距離) = $|x_1 - x_2|$, $x_1, x_2 \in [0, L]$. (4)

3. 移動費用とトリップ密度関数

C = 単位距離の移動にかかる費用

R_p = 料金所で支払うロードプライシング

と定義した時、起点・終点の位置関係によるトリップの分類と、そのときの移動費用 $p(x_1, x_2)$ は直交座標 (x_1, x_2) 上で、図2のように示される。

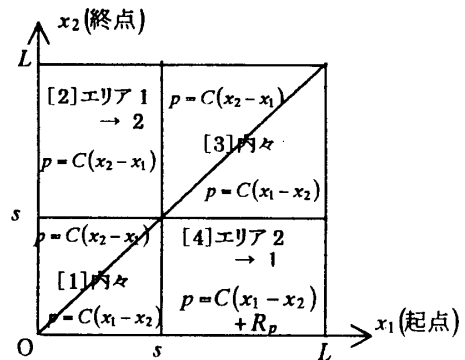


図2: (x_1, x_2) 平面上でのトリップ, 移動費用の分類.

次にトリップ密度関数を $\gamma(x_1, x_2)$ で与える。 $\Delta x_1, \Delta x_2$ が十分小さい正数であるとき、区間 $(x_1, x_1 + \Delta x_1)$ から区間 $(x_2, x_2 + \Delta x_2)$ への移動人数(トリップ数) $\sim \gamma(x_1, x_2) \Delta x_1 \Delta x_2$ である。本稿では、 $\gamma(x_1, x_2)$ を“起・終点の人口密度に比例し、移動費用 $p(x_1, x_2)$ に逆比例する”ものとする。すなわち、 $\varphi(\cdot)$ を抵抗関数(正值の単調減少関数)として、次のように置く。

$$\gamma(x_1, x_2) = \rho(x_1) \rho(x_2) \varphi(p(x_1, x_2)). \quad (5)$$

簡単のため人口密度を $\rho(x) \equiv 1$ とし、抵抗関数には $\varphi(p) = e^{-\mu p}$ (μ は正の定数)を用いる。

4. トリップ数

4.1. トリップ数の算出

トリップ数を算出するには、トリップ密度 $\gamma(x_1, x_2)$ を $[0, L]^2$ 上で積分すればよい。ここで、

$$P_{ij} = (\text{エリア}i\text{からエリア}j\text{へのトリップ数}), (i, j = 1, 2) \quad (6)$$

と定義する。

$$P_{11} = \int_{\text{エリア1}} \gamma(x_1, x_2) dx_1 dx_2 = \frac{2}{(\mu C)^2} (e^{-\mu C s} + \mu C s - 1). \quad (7)$$

同様に、 P_{22}, P_{12}, P_{21} を求めることができる。

$$P_{22} = \frac{2}{(\mu C)^2} \{e^{-\mu C(L-s)} + \mu C(L-s) - 1\}. \quad (8)$$

$$P_{12} = \frac{1}{(\mu C)^2} \{e^{-\mu CL} - e^{-\mu Cs} + e^{-\mu C(L-s)} + 1\}. \quad (9)$$

$$P_{21} = \frac{e^{-\mu R_p}}{(\mu C)^2} \{e^{-\mu CL} - e^{-\mu Cs} + e^{-\mu C(L-s)} + 1\}. \quad (10)$$

求めた各トリップ数の吟味は、ここでは省略する。

4.2. 数値例

係数を次のように設定する: $C=100$, $\mu=0.005$, $L=40$. このときの総トリップ数 $P(s, R_p)$ ($=P_{11} + P_{22} + P_{12} + P_{21}$) の曲面を図3に示す。

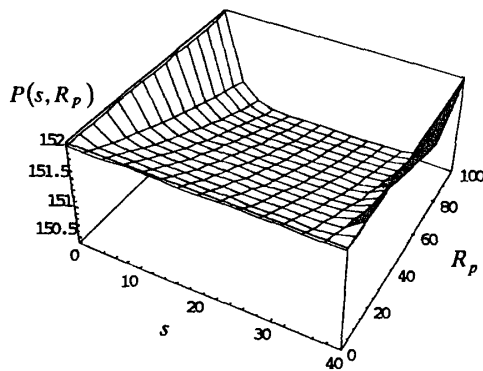


図3: 総トリップ数 $P(s, R_p)$ の曲面。

R_p の値の増加に従い、総トリップ数が減少していく様子がうかがえる。また、 $P(s, R_p)$ は凸関数であり、 $s=L/2$ すなわち $s=20$ において最小となる。

5. 通過トリップ数

5.1. 通過トリップ数の算出

$[0, L]$ 上の地点 x における、通過トリップ数 $M(x)$ を算出する。トリップによる移動費用の違いに注意して、それぞれの場合の通過トリップ数を求める。

$x_1 < x_2$ のとき

$$M(x) = \iint_{x_1 < x < x_2} \gamma(x_1, x_2) dx_1 dx_2 = \int_{x_1=0}^x \int_{x_2=x}^L e^{-\mu C(x_2-x_1)} dx_1 dx_2 \\ = \frac{1}{(\mu C)^2} \{1 + e^{-\mu CL} - e^{-\mu Cx} - e^{-\mu C(L-x)}\}. \quad (11)$$

$x_1 > x_2$ のそれぞれの場合も同様に求めて、すべて足しあわせ、以下の結果を得る。

$0 \leq x \leq s$ のとき

$$M(x) = \frac{1}{(\mu C)^2} \{2 + e^{-\mu CL} + e^{-\mu Cs} - 2e^{-\mu Cx} - e^{-\mu C(L-x)} \\ - e^{-\mu C(s-x)} + e^{-\mu(C(L+s)+R_p)} (e^{\mu CL} - e^{\mu Cs}) (e^{\mu Cx} - 1)\}. \quad (12)$$

$s \leq x \leq L$ のとき

$$M(x) = \frac{1}{(\mu C)^2} \{1 + e^{-\mu CL} - e^{-\mu Cx} - e^{-\mu C(L-x)} + \\ e^{-\mu(C(L+x)+R_p)} (e^{\mu Cs} - e^{\mu(Cs+R_p)} + e^{\mu(Cx+R_p)} - 1)\}. \quad (13)$$

5.2. 数値例

係数を次のように設定する: $C=100$, $\mu=0.005$, $L=40$, $s=15$. このときの通過トリップ数 $M(x, R_p)$ の曲面を図4に示す。

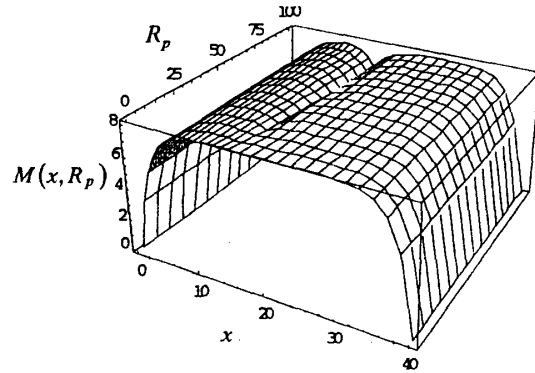


図4: 通過トリップ数 $M(x, R_p)$ の曲面。

R_p の値の増加に従い、わずかではあるが、通過トリップ数は減少している。料金所の位置、つまり $s=15$ の近辺においては、その落ち込みが顕著である。

$R_p=0$ の時、通過トリップが最大となるのは都市の中央、すなわち $x=20$ の地点である。 $R_p=100$ の時に最大となるのは $x=25.88$ の地点となった。

6. 展望

今回と同様の作法で、料金所が2ヶ所の場合、起点と終点の人口密度が一定でなく、線形で与えられる場合についても導出した。

理念的なモデルにより、ロードプライシングを適用した際の流動について議論した。トリップ密度函数をより現実的なものに近づけるなどの課題があるが、交通量をある値以下に抑えたいならば、どの程度の課金を行えば良いか、また道路経営者の立場に立った時の収入の最大化、等を考える際の基礎となりうると考えている。

今回都市を1次元で与えたが、今後は2次元とした場合について取り組んでいきたい。

7. 参考文献

[1] 栗田 治 (1996): 路線の乗り換えを考慮した旅客流動と運賃収入のモデル, 第29回日本都市計画学会学術研究発表論文集, pp.121-126.