

## 放射・環状道路網におけるコードン課金とエリア課金

01606840 山梨大学 宮川 雅至 MIYAGAWA Masashi

## 1. はじめに

道路混雑を解消する方法としてロードプライシングが注目されている [1]. 本研究では, コードン課金とエリア課金の2種類のロードプライシングに対して, 課金領域の規模と料金水準が交通量と料金収入に及ぼす影響を分析する.

## 2. 放射・環状道路網モデル

稠密な放射・環状道路網を有する半径  $a$  の円盤都市を考える (図 1). 課金領域は都心を中心とする半径  $b$  の円で表されるものとする. コードン課金は課金領域へ流入する交通に課金し, エリア課金は課金領域内のすべての交通に課金する.

トリップ長が  $R$  のときの移動費用を

$$C = \alpha R + t \quad (1)$$

と定義する. ただし,  $\alpha$  は単位距離当たりの移動費用,  $t$  は料金である. 移動者は費用が最小となる経路を使うと仮定する. したがって, 料金が課されないときの移動距離は放射・環状距離と一致する. 極座標で表された2点  $(r_1, \theta_1), (r_2, \theta_2)$  間の放射・環状距離は,  $\varphi = \min\{|\theta_1 - \theta_2|, 2\pi - |\theta_1 - \theta_2|\}$  とおくと,

$$S = \begin{cases} |r_1 - r_2| + \min\{r_1, r_2\}\varphi, & 0 \leq \varphi < 2, \\ r_1 + r_2, & 2 \leq \varphi \leq \pi, \end{cases} \quad (2)$$

と表される. 移動需要は移動費用に依存し,

$$D = D_0 e^{-\beta C} \quad (3)$$

と表されるものとする. ただし,  $D_0$  は  $C = 0$  のときの移動需要,  $\beta$  は費用の増加に対する需要の減衰を表す.

移動の起終点は都市内で一様に分布しているものとする. 起終点が共に課金領域の外側にある移動を通過交通, 起点が課金領域の外側で終点が内側にある移動を流入交通, 起点が課金領域の内側で終点が外側にある移動を流出交通, 起終点が共に課金領域の内側にある移動を域内交通と呼ぶ.

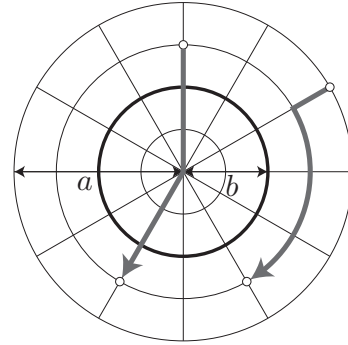


図 1: 放射・環状道路網を有する円盤都市

## 3. 交通量と料金収入

通過交通の起終点をそれぞれ  $(r_1, \theta_1)$  ( $b \leq r_1 \leq a, 0 \leq \theta_1 < 2\pi$ ),  $(r_2, \theta_2)$  ( $b \leq r_2 \leq a, 0 \leq \theta_2 < 2\pi$ ) とおく. 通過交通が課金領域を通るのは, 迂回するより移動費用が安くなる,

$$2ab + t \leq ab\varphi \Leftrightarrow \varphi \geq \frac{t}{ab} + 2 \quad (4)$$

のときである. すなわち, 終点が図 2 の灰色の領域にあるときに課金領域を通る. このときの移動費用は

$$C^T = \alpha(r_1 + r_2) + t \quad (5)$$

と表される. 課金領域を通る通過交通量は

$$\begin{aligned} V^T &= \int_0^{2\pi} \int_b^a \int_{t/(ab)+2}^{\pi} \int_b^a 2D_0 \\ &\quad \exp[-\beta\{\alpha(r_1 + r_2) + t\}] r_1 r_2 dr_2 d\theta_2 dr_1 d\theta_1 \\ &= \frac{4\pi D_0}{\alpha^4 \beta^4} \left( \pi - 2 - \frac{t}{ab} \right) \{(\alpha\beta b + 1)e^{\alpha\beta a} \\ &\quad - (\alpha\beta a + 1)e^{\alpha\beta b}\}^2 e^{-\beta\{2\alpha(a+b)+t\}} \end{aligned} \quad (6)$$

と得られる. 料金水準に対する通過交通量を図 3 に示す. ただし,  $a = 1, D_0 = 1, \alpha = 1, \beta = 1$  である. 課金領域が大きくなるほど, 交通量を減らすためにより高い料金設定が必要になることが分かる. 通過交通を完全に排除する料金は

$$t^\dagger = (\pi - 2)ab \quad (7)$$

となる。通過交通による料金収入  $T^T = tV^T$  を図 4 に示す。料金収入を最大にする料金は

$$t^T = \frac{(\pi - 2)\alpha\beta b + 2 - \sqrt{(\pi - 2)^2\alpha^2\beta^2 b^2 + 4}}{2\beta} \quad (8)$$

となる。課金領域が大きくなるほど、料金収入を最大にするためにより高い料金設定が必要になる。

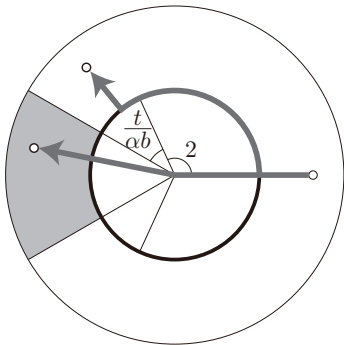


図 2: 通過交通の経路

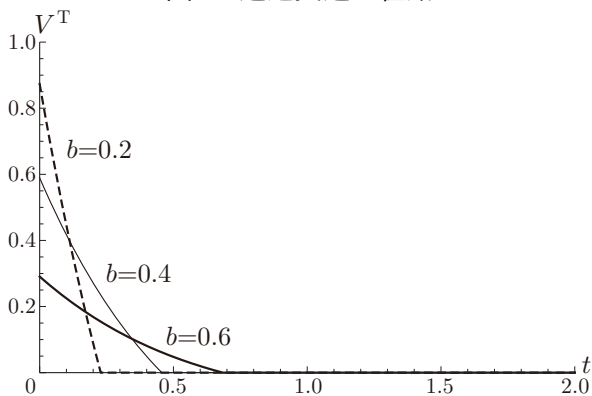


図 3: 通過交通量

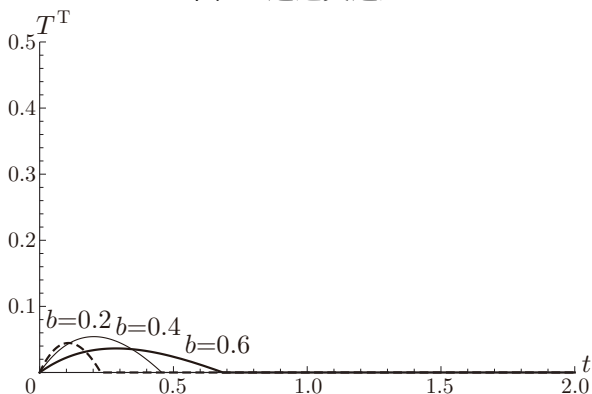


図 4: 通過交通による料金収入

流入・流出・域内交通の交通量と料金収入も同様に求めることができる。

#### 4. コードン課金とエリア課金

コードン課金では通過交通と流入交通が課金され、エリア課金では流出交通と域内交通も含めたすべての交通が課金される。コードン課金とエリア課金の交通量と料金収入を図 5, 6 に示す。ただし、 $b = 0.6$  である。同じ料金を課した場合でも、エリア課金の方がコードン課金よりも交通量をより大きく減らすことができる。また、料金収入もエリア課金の方が大きい。したがって、交通量の削減と料金収入の確保のいずれにおいてもエリア課金の方が優れているといえる。

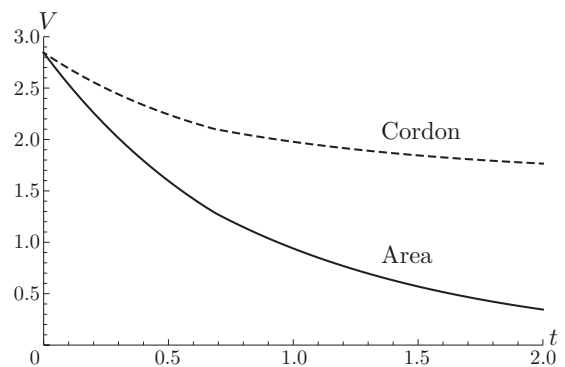


図 5: 交通量

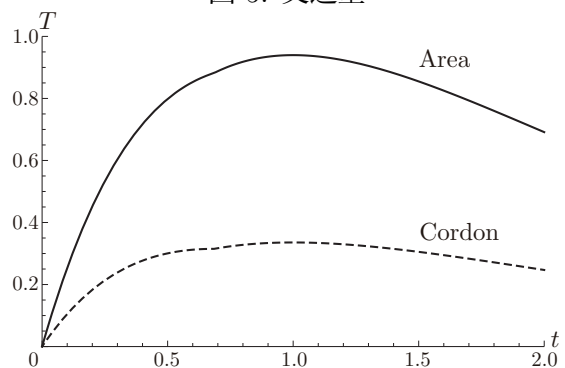


図 6: 料金収入

#### 5. おわりに

コードン課金とエリア課金に対して、課金領域の規模と料金を決定するためのモデルを提案した。モデルはロードプライシングの設計に役立つ。

#### 参考文献

- [1] Miyagawa, M.: Cordon and area road pricing in radial-arc network. *Journal of the Operations Research Society of Japan*, 62, 121–131, 2019.