

理論談話会 @ 日本橋

Downtown parking supply, work-trip mode choice and urban spatial structure

Sofia F. Franco

Transportation Research Part B, Vol.101, pp107-122, 2017.

2017/09/16

B4 松岡 央真

目次

1. Introduction
2. Model
3. Spatial behavior of the main endogenous variables
4. Urban equilibrium conditions
5. The effects of a change in the supply of CBD parking
6. Optimal parking capacity and self-financing
7. Further discussion

目次

1. 研究背景・目的
2. モデルの各変数の定義
3. 空間に関する変数の性質と実都市の性質の確認
4. 都市の均衡条件(モデルを解くための境界条件)
5. CBD駐車場供給量変化が与える影響(モデルを解く)
6. 現在の都市構造に対するCBD駐車場供給量の最適解
7. 補足
8. 結論

1. 研究背景・目的

- ・ 交通量の多い地域(Downtown)では、交通遅延は経済活動に悪影響を及ぼしている
- ・ 駐車料金と駐車場利用可能性が、通勤における交通手段選択(自家用車or公共交通)に大きく影響を与えている(Shoup,2005)
- ・ 自家用車の利用低減は遅延コストだけでなく大気汚染やエネルギー消費も抑える

駐車場に関する政策の重要性→認知大



駐車場政策が都市空間構造に与える影響の学術的分析→不十分

- ・ 目的： **駐車場政策**と**交通手段選択**、**土地利用**の相互作用を記述可能な都市空間モデルを構築

CBD(Central Business District)駐車場供給量変化による都市構造(土地利用/規模/人口密度)、交通手段選択、大気汚染への影響を記述

2. モデルの各変数の定義

[仮定]

- ・ CBDからの距離を x として線形都市($0 < x < \bar{x}$)を表現
- ・ 住民は不在地主から土地を借り、車を所有
- ・ 住居付属の駐車場形態は1パターンのみ
- ・ 全ての住民は必ずCBDへ公共交通か自家用車で通勤 $N = N^b + N^c$
- ・ 車通勤者は自宅を出て必ずCBD($x = 0$)に駐車(供給量 C ,料金 f_c)
- ・ 車の利用は,
 - CBDでの駐車渋滞コスト*の増大
 - 大気汚染の悪化を招く

*通勤経路途中での渋滞による遅延コストは考慮しない

- ・ 都市外部($x > \bar{x}$)の地価 r_a は所与



2. モデルの各変数の定義

通勤コスト

- 全ての住民は必ずCBDへ公共交通か自家用車で通勤 $N = N^b + N^c$ (1)

- 車通勤者は自宅を出て必ずCBD($x = 0$)に駐車(供給量 C ,料金 f_c)

- 車の利用は,
 - CBDでの駐車渋滞コストの増大
 - 大気汚染の悪化

- 車での通勤コストは,

$$[t_c + \theta_c y]x + \left[\frac{N^c}{C}y + f_c \right] \quad (2)$$

燃費
速度
時間価値
を招く
CBDでのコスト

- 公共交通での通勤コストは, $f_b + \theta_b yx$ (3)

- 二式より,

$$\hat{x} = \frac{\frac{N^c}{C}y + f_c - f_b}{\theta_b y - \theta_c y - t_c} \quad (5)$$
 - $0 < x \leq \hat{x}$: 公共交通通勤
 - $\hat{x} < x$: 自家用車通勤
 を選択する.

➤ CBD近傍の住民は公共交通, 遠い住民は車

2. モデルの各変数の定義

住居1戸当たりの賃料 R

- 住居選択における効用関数： $U(q, \alpha, m, E) = \omega(q) + \phi(\alpha) + m + E$

居住空間面積 駐車場個数 環境の質

- 最低限必要な住居効用水準を U とすると,

$$\omega_q > 0, \omega_{qq} < 0$$

$$\phi_\alpha > 0, \phi_{\alpha\alpha} < 0.$$

$$R(q, \alpha, x; \varphi) = \begin{cases} \omega(q) + \phi(\alpha) - U + E + y - f_b - \theta_b y x & \text{for } 0 < x \leq \hat{x} \\ \omega(q) + \phi(\alpha) - U + E + y - f_c - [t_c + \theta_c y]x - \frac{N^c}{c} y & \text{for } \hat{x} \leq x \end{cases} \quad \begin{matrix} E(N^c) \text{ with } E_{N^c} < 0 \\ (7) \end{matrix}$$

居住地の駐車場設置コスト $i\bar{K} + r\bar{l}$ (8) (投入資本+使用する土地)

- 資本, 土地の価格(所与)を i, r とし, 1駐車場あたり投入しなければならない資本と土地の量(所与)を \bar{K}, \bar{l} とする.

2. モデルの各変数の定義

デベロッパーによる都市開発

- 面積 L の土地に K の資本を投入し，床面積 $H(K, L)$ のマンションを建設
- 資本投入率 $S = \frac{K}{L}$ とし，単位土地当たり床面積 $h(S) = \frac{H}{L}$ ， $h_S > 0$ ， $h_{SS} < 0$
- この時，マンションの住居数は $\frac{H(K, L)}{q} = \frac{Lh(S)}{q}$ なので，デベロッパーの利益は，

$$L \left\{ \frac{h(S)}{q} [R(q, \alpha, x; \varphi) - \alpha[r\bar{l} + i\bar{k}]] - \frac{iS - r}{q} \right\} = L\pi \quad (9)$$

賃料 駐車場 投入資本と土地

- 開発利益最大化(π 最大化)を考え， S, q, α による π の一次微分は，

$$\frac{\partial \pi}{\partial S} = \frac{h_S(S)}{q} [R(q, \alpha, x; \varphi) - \alpha[r\bar{l} + i\bar{k}]] - i = 0 \quad (10)$$

開発は，獲得賃料増分＝駐車場コスト増分
＋投入資本増分 となるまで続く

$$\frac{\partial \pi}{\partial q} = \frac{h(S)}{q} \left[R_q - \frac{R(q, \alpha, x; \varphi) - \alpha[r\bar{l} + i\bar{k}]}{q} \right] = 0 \quad (11)$$

家は，獲得賃料減少分＝駐車場コスト現状分
となるまで広がる

$$\frac{\partial \pi}{\partial \alpha} = \frac{h(S)}{q} [R_\alpha - r\bar{l} - i\bar{k}] = 0 \quad (12)$$

駐車場を増やすことによる純利益が0になる
まで，駐車場は多く確保される

- また， π が0となる時，

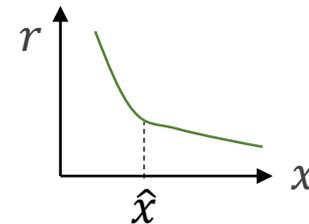
$$\pi = \frac{h(S)}{q} [R(q, \alpha, x; \varphi) - \alpha[r\bar{l} + i\bar{k}]] - iS - r = 0 \quad (13)$$

3. 空間に関する変数の性質

空間の変数 r, S, q, α, δ ($= (\bar{l}\alpha + q/h)$ 1住居あたり土地面積) を x で微分

➤ 土地の価格は中心ほど高いが境界 \hat{x} では関数に歪み

$$r_x = \begin{cases} \frac{-\theta_b y}{\bar{l}\alpha + \frac{q}{h(S)}} < 0 & \text{for } x < \hat{x} \\ \frac{-[t_c + \theta_c y]}{\bar{l}\alpha + \frac{q}{h(S)}} < 0 & \text{for } x > \hat{x} \end{cases} \quad (14)$$



➤ 郊外ほど、投資が減少し、1戸あたりの居住スペース、駐車台数、使用面積は増加し、人口密度($1/\delta$)は小さくなる。→実都市と矛盾なし

$$S_x = \frac{-h_s r_x q}{h_{ss} h [R - \alpha [r\bar{l} + i\bar{k}]]} < 0 \quad (15)$$

$$\delta_x = \alpha_x \bar{l} + \frac{q_x h - h_x q}{q^2} > 0 \quad (18)$$

$$q_x = \frac{r_x}{h R_{qq}} > 0 \quad (16)$$

$$\left(\frac{1}{\delta}\right)_x = -\frac{\delta_x}{\delta^2} < 0 \quad (19)$$

$$\alpha_x = \frac{r_x}{h R_{qq}} > 0. \quad (17)$$

4. 都市の均衡条件(3個の制約条件)

閉じた系を仮定し総人口 N を固定して、 $U, N^c, \bar{x}, \hat{x}, f_c, C$ の関係を求める

1. 都市周縁部での地価=農地地価

$$r(\bar{x}, U, E, f_c, C) = r_a. \quad (20)$$

$$2. \text{総人口 } N \int_0^{\hat{x}} \frac{1}{\delta(x)} dx + \int_{\hat{x}}^{\bar{x}} \frac{1}{\delta(x)} dx = N \quad (21) \quad N^c = \int_{\hat{x}}^{\bar{x}} \frac{1}{\delta(x)} dx = \frac{r(\hat{x}, U, E) - r_a}{t_c + \theta_c y} \quad (23)$$

$$r(\hat{x}, U, E)[\theta_b y - \theta_c y - t_c] + r(0, U, E)[t_c + \theta_c y] = \theta_b y [N[t_c + \theta_c y] + r_a] \quad (22) \quad (\because (14)(21))$$

3. 駐車場収入=駐車場建設コスト(システム均衡解)

$$f_c N^c = iC \quad (24)$$

駐車料金には利用者均衡解も存在(料金=混雑度コスト増加分)

$$f_c = \frac{N^c y}{C}$$

- (24)式に基づき料金を設定した場合、車利用者は利用者均衡解よりも $s = \frac{y}{C} N^c - \frac{iC}{N^c}$ だけ安価に駐車場を利用していることになる

5. CBD駐車場供給量(C)変化が与える影響

式は5つ((5),(20),(22),(23),(24)), 未知変数は $U, N^c, \bar{x}, \hat{x}, f_c$ なので, 各変数を C で微分する. (ここでは, $s > 0$ とする)

$$\frac{d\hat{x}}{dC} = -\overbrace{\left[\frac{N^c}{C^2}y - \frac{i}{N^c} \right]}^I \frac{\left[1 - \frac{dN^c}{dC} \frac{C}{N^c} \right]}{(\theta_{by} - \theta_{cy} - t_c)} < 0 \quad (25) \quad 0 < \frac{dN^c}{dC} \frac{C}{N^c} < 1 \quad (26)$$

$$\frac{dU}{dC} = \frac{\delta(0)\theta_{by}\left[1 - \frac{dN^c}{dC} \frac{C}{N^c}\right]\left[\frac{N^c}{C^2}y - \frac{i}{N^c}\right]}{\delta(0)\theta_{by} + [t_c + \theta_{cy}][\delta(\hat{x}) - \delta(0)]} + \frac{\partial E}{\partial N^c} \frac{N^c}{E} \left[\frac{dN^c}{dC} \frac{C}{N^c} \right] \frac{E}{C} \stackrel{\approx}{=} 0 \quad (27)$$

$$\frac{dr(0)}{dC} = -\frac{\theta_{by}\left[1 - \frac{dN^c}{dC} \frac{C}{N^c}\right]\left[\frac{N^c}{C^2}y - \frac{i}{N^c}\right]}{\delta(0)\theta_{by} + [t_c + \theta_{cy}][\delta(\hat{x}) - \delta(0)]} < 0 \quad (28) \quad \frac{dS(0)}{dC} = -\frac{h_s q}{h_{ss}h[R(0) - \alpha r\bar{l} - \alpha i\bar{k}]} \frac{dr(0)}{dC} < 0 \quad (32)$$

$$\frac{dr(\hat{x})}{dC} = \frac{\theta_{by}[\theta_{cy} + t_c]\left[1 - \frac{dN^c}{dC} \frac{C}{N^c}\right]\left[\frac{N^c}{C^2}y - \frac{i}{N^c}\right]}{[\theta_{by} - \theta_{cy} - t_c][\delta(0)[\theta_{by} - \theta_{cy} - t_c] + \delta(\hat{x})[t_c + \theta_{cy}]} > 0. \quad (29) \quad \frac{dS(\hat{x})}{dC} = -\frac{h_s q}{h_{ss}h[R(\hat{x}) - \alpha r\bar{l} - \alpha i\bar{k}]} \frac{dr(\hat{x})}{dC} > 0. \quad (33)$$

$$\frac{d\bar{x}}{dC} = \frac{[\delta(\hat{x}) - \delta(0)]\left[1 - \frac{dN^c}{dC} \frac{C}{N^c}\right]\left[\frac{N^c}{C^2}y - \frac{i}{N^c}\right]}{\theta_{by}\delta(0) + [\theta_{cy} + t_c][\delta(\hat{x}) - \delta(0)]} > 0 \quad (30) \quad \frac{dq(0)}{dC} = \frac{1}{h(0)R_{qq}} \frac{dr(0)}{dC} > 0 \quad (34)$$

$$\frac{dq(\hat{x})}{dC} = \frac{1}{h(\hat{x})R_{qq}} \frac{dr(\hat{x})}{ds} < 0. \quad (35)$$

$$\frac{d\alpha(0)}{dC} = \frac{\bar{l}}{R_{\alpha\alpha}} \frac{dr(0)}{dC} > 0 \text{ and } \frac{d\alpha(\hat{x})}{dC} = \frac{\bar{l}}{R_{\alpha\alpha}} \frac{dr(\hat{x})}{dC} < 0 \quad (31) \quad \frac{ds}{dC} = \frac{1}{C} \left[\frac{yN^c}{C} + \frac{iC}{N^c} \right] \left[\frac{dN^c}{dC} \frac{C}{N^c} - 1 \right] < 0 \quad (36)$$

5. CBD駐車場供給量(C)変化が与える影響

式は5つ((5),(20),(22),(23),(24)), 未知変数は $U, N^c, \bar{x}, \hat{x}, f_c$ なので, 各変数を C で微分する. (ここでは, $s > 0$ とする)

Table 1

Comparative static results of a change in C under underpriced parking.

N^c	\hat{x}	\bar{x}	$S(0)$	$S(\hat{x})$	$q(0)$	$q(\hat{x})$	$\alpha(0)$	$\alpha(\hat{x})$	$r(0)$	$r(\hat{x})$	U
+	-	+	-	+	+	-	+	-	-	+	+/-

定理1

a: C の増大は混雑緩和による時間コスト削減を果たすが, N^c 増加による環境への悪影響の増大も招く. より直接的に住民に働く前者の効果が後者の効果を上回るとすれば, U は増大する.

$$\frac{dU}{dC} = \frac{\delta(0)\theta_{by}\left[1 - \frac{dN^c}{dC} \frac{C}{N^c}\right]\left[\frac{N^c}{C^2}y - \frac{i}{N^c}\right]}{\delta(0)\theta_{by} + [t_c + \theta_{cy}][\delta(\hat{x}) - \delta(0)]} + \frac{\partial E}{\partial N^c} \frac{N^c}{E} \left[\frac{dN^c}{dC} \frac{C}{N^c}\right] \frac{E}{C} \stackrel{\Delta}{\geq} 0 \quad (27)$$

b: 駐車混雑緩和による時間コストの削減は, 将来的には車依存地区の魅力を高め, 都市規模の拡大につながる.

6. CBD駐車場供給量(C)の最適解

現状の都市の空間構造(N^c)において、 U を最大化する C を考える

$$\frac{dU}{dC} = \Theta \left[\frac{N^c y}{C^2} - \frac{i}{N^c} \right] \quad (37) \quad (\Theta \text{は環境効果の大小により変化する})$$

よって、 $\frac{N^c y}{C^2} = i$ (38) を満たす容量 C を選択することで、 $\frac{dU}{dC} = 0$ となる。

(38)式をみたす時、容量 C は、容量増加により削減される時間コスト(左辺)と容量増加により必要になるインフラコスト(右辺)が等しくなるような値をとる。

またこの時、 $\frac{N^c y}{C} = \frac{iC}{N^c} \Leftrightarrow \frac{N^c y}{C} = f_c$. により、 f_c も定まる。

定理2

経路中の渋滞コストを考慮せず、 U を最大化する C を選択すると、車利用による環境効果 E の大きさよらず、 $f_c = \frac{iC}{N^c} = \frac{N^c y}{C}$ となり、インフラ均衡解と利用者均衡解は等しくなる。(s > 0)

ただし、この次善の解では、環境への影響が考慮できないため、過剰な車利用を抑制することはできない。(N^cは変化しない)

6. CBD駐車場供給量(C)の最適解

現状の都市の空間構造(N^c)において、 U を最大化する C を考える

$$\frac{N^c y}{C^2} = i \quad (38) \text{ より,}$$

$$\frac{d\hat{x}}{dC} = - \overbrace{\left[\frac{N^c}{C^2} y - \frac{i}{N^c} \right]}^I \frac{\left[1 - \frac{dN^c}{dC} \frac{C}{N^c} \right]}{(\theta_b y - \theta_c y - t_c)} \quad (25) \quad \frac{d\bar{x}}{dC} = \frac{[\delta(\hat{x}) - \delta(0)] \left[1 - \frac{dN^c}{dC} \frac{C}{N^c} \right] \left[\frac{N^c}{C^2} y - \frac{i}{N^c} \right]}{\theta_b y \delta(0) + [\theta_c y + t_c] [\delta(\hat{x}) - \delta(0)]} \quad (30)$$

定理3

$f_c = \frac{N^c y}{C}$ とすれば、 C の変化は効用 U , 車利用量 N^c , 交通機関選択 \hat{x} , 都市の広がり \bar{x} に影響を与えない。

(駐車料金の価格設定次第で、 C 増大による都市空間変容を防げる?)

7. 補足

実際の駐車料金は、最適解とは限らないので、

- ・ 駐車料金に関する車利用の弾力性が重要になる

→統計データを基に、およそ0.1~0.3というデータもある(Litman,2013)が、CBDに通勤する場合それが適用できない可能性も高い。

$$\frac{d\alpha(0)}{dC} > 0, \frac{d\alpha(\hat{x})}{dC} < 0 \text{より,}$$

- ・ 住民用の駐車場の需要増加による、都市の別の場所に新たな駐車場を作る必要が生じる可能性
- ・ 駐車場付き住居は自家用車利用を促進する。
- ・ 住居に駐車場がついているかどうかによって、自家用車所有率が大きく変化しているというデータもある。(Manville,2017)

8. 結論

[まとめ]

- ・ C の増大は、短期的には駐車渋滞時間削減のメリットがあるが、長期的には道路混雑や大気汚染、車依存都市構造を招く
- ・ 本研究では、経路中の道路混雑は考慮していない
- ・ C の増大による住居駐車場需要変化は、CBDからの距離により異なる
- ・ U を最大化する C では、 E によらずインフラ均衡解と利用者均衡解は等しくなる

[今後の展望]

- ・ 場所によって大気汚染の度合いも異なることを考慮したモデル
- ・ 住民の個人属性の考慮(本研究では全員が同性質とした)
- ・ 郊外にも中心市街地がある場合の駐車容量規制の効果の検証
- ・ CBD駐車場と住居駐車場需要の相互関係
- ・ 複数の駐車価格や異なる形態の駐車場の考慮