

交通料金政策が立地外部性に与える影響の分析：立地分布変化と厚生分析*

Analysis of the effect of tolling on locational externality:
the changes in location distribution and the social welfare*

河野達仁** 大内美穂***

By Tatsuhiro KONO** Miho OHUCHI***

1. はじめに

都市に立地する企業の多く（特に本社機能や企画立案機能等を持った事務所）は、他企業と双方向の face-to-face のコミュニケーションを行うことで、業務を遂行している。こうした企業は立地する際に、自企業の交通費用は考慮するものの、取引のある他企業の交通費用は無視する。この結果生じる外部性は立地外部性と呼ばれる。

face-to-face のコミュニケーションによる人口分布や企業立地の分析は Beckman(1976), Borukov and Hochman (1977), O'Hara (1977), Fujita and Thisse (2002) の研究がある。立地外部性を内部化してファーストベストを実現する政策としては、Fujita and Thisse(2002)¹⁾ が交通費用を倍にする政策を、Kanemoto(1990)²⁾ が企業へのピグー補助金政策を提案している。しかし、前者については非弾力的な交通のもとでのみ成立し、後者については各企業別にピグー補助金を計算して異なる補助金を与えるための膨大な行政費用が必要であり、いずれの政策も現実的でない。

実際に行われている交通料金政策としては、ロンドンやシンガポールなどで混雑税の賦課がある。混雑税は交通混雑の内部化を目的としている。しかしながら、交通料金の賦課は企業立地分布に影響を与えるため立地外部性にも影響を与える。そこで、より社会厚生にプラスの効果が期待できる政策を行うためには、立地外部性を考慮した混雑料金政策を行うことが必要である。

立地外部性を適正化するための交通料金政策についての研究は、弾力的な交通のもとでの交通料金を課す Ravinder(2007)³⁾ があり、立地外部性を交通料金が緩和することを示した。しかし、その条件は経済的解釈の難しいもので、数値計算によって性質を述べた点も多い。解析的な分析により、性質等をより具体的に分析できると考えられる。

*キーワードズ：計画基礎論，計画手法論，都市計画

**正員，博(学術)，東北大学大学院工学研究科
(仙台市青葉区青葉06，TEL022-795-7501)

***非会員，東北大学大学院工学研究科
(仙台市青葉区青葉06，TEL022-795-7496)

そこで本研究は、弾力的な交通需要を仮定して、交通料金政策による立地外部性への効果を分析する。具体的には開放都市モデル、閉鎖都市モデルの2つのモデルを設定し、交通税・補助金の金額、交通需要の弾力性を変化させたとき、社会厚生の変化を企業立地分布変化とともに分析する。

2. 経済主体のモデル化

経済主体のモデル化にあたり、以下の仮定を置く。

- 経済主体は企業とビルを建設する開発者とする。
- 立地点は、離散的に3ゾーン存在し、ゾーン1、ゾーンc、ゾーン2と直列に並んでおり、均質である。
- 企業は単位面積1のフロアを使用する。
- 各企業は隣接ゾーンと自ゾーンの全企業と取引を行う。
- 取引に要するコミュニケーショントリップ数は交通費用に関して弾力的である。
- 企業間の可変交通頻度パラメータは、単位交通コストの減少関数とする
- 社会厚生＝総地代＋企業利潤＋開発者利潤 とする。

(1) 企業のモデル化

企業は完全競争状態にあり、都市に立地する企業は以下の利潤最大化行動を行う。

$$\pi_i = \max_{\{s_{ij}\}} \{X_i - T_i - r_i^f + u\} \quad (1)$$

ゾーン*i*の企業の利潤は、生産量 X_i から取引に要する交通費用 T_i と立地の際に支払うフロアレント料 r_i^f を引き、総交通料金収入から各企業に均一に還元される還元分 u を加えたものである。生産量は他の企業へのコミュニケーショントリップ数 s_{ij} により変化する。生産量と交通費用を式(2)と(3)で、総交通料金収入からの1企業あたりの還元分を式(4)のように定義する。 n_i はゾーン*i*に存在する企業数、 d_{ij} はゾーン*ij*間 ($ij = 11, 1c, cc, c1, c2, 22, 2c$) 単位交通費用で時間価値を含む交通費用と交通料金 q を合計した費用、 G_i は非弾力的な交通による生産と交通に関係しない生産の合計である。

$$X_i = G_i + \sum_j n_j f(s_{ij}) \quad (2)$$

$$T_i = \sum_j n_j d_{ij} s_{ij} \quad (3)$$

$$u = \frac{n_1 n_c q s_{1c} + n_c (n_1 q s_{c1} + n_2 q s_{c2}) + n_2 n_c q s_{2c}}{n_1 + n_c + n_2} \quad (4)$$

開放都市モデルでは、企業利潤 π_i が0になるまで企業立地が進む。一方、閉鎖都市モデルでは、総企業数が一定であり($\bar{n} = n_1 + n_2 + n_c$ とする)、全立地点の企業利潤が等しくなる。

(2) 開発者のモデル化

開発者は立地点*i*において利潤最大化行動を行う。しかし、開発者間の競争により、開発者の利潤は全て地代に還元されるため0となり、結果として各ゾーンの地代 R_i を最大化するように行動する。

$$R_i = \max_{F_i} \left\{ \sum_i r_i^d F_i - F_i^\beta \right\} \quad (5)$$

第一項が企業から得るレント収入、第二項がフロア建設コストを表している。企業に要求するフロアレントの関数は、上記の地代関数をフロア供給量 F_i について最適化することにより式(6)のように表される。

$$r_i^d = \beta F_i^{\beta-1} \quad (6)$$

以下、分析において解析解を得るため建設コストパラメータ β は $\beta=2$ とした。

3. 均衡における企業の立地数と分布変化

各ゾーンは同質であるので企業数 n_i は企業の立地密度としてみるができる。企業と開発者はそれぞれ利潤を最大化させるようにフロアレント r_i^f, r_i^d を決定し行動するため、市場均衡で式(7)が成立する。

$$r_i^{mf} = r_i^{md} \quad (7)$$

開放都市モデルと閉鎖都市モデルにおいて市場均衡状態での企業の立地数、立地分布比率を導いた。

また、社会的最適は、企業の総利潤が最大化されることで達成される。定式化すると式(8)のようになる。

$$W = \max_{\{n_i, s_{ij}\}} \{R_1 + R_c + R_2\} \quad (8)$$

(1) 開放都市モデルにおける立地分布変化

a) 市場均衡

まず開放都市において市場均衡を求める。このとき企業は完全競争状態にあり、 $\pi_i^f = 0$ となるため、フロアレントは式(1)より以下のように書き換えられる。

$$r_i^{mf} = \{X_i(s_{ij}) - T_i(s_{ij}) + u\} \quad (9)$$

さらに、各ゾーンに関して式(2)~(4)、(7)により整理し直すと、交通料金課金後の市場均衡状態での企業の立地数 n_1, n_c が満たす条件式として式(10)と(11)が導け、分布比率として式(12)となる。空間対称なる企業立地パターンを仮定し、 $n_1 = n_2$ とする。なお、企業の集積度を示す指標 α を $\alpha = n_c / n_1$ と定義する。

$$2n_1 = \left[n_1 E_{11} + n_c E_{1c} - q n_c s_{1c} + \frac{4n_1 q}{2n_1 + n_c} n_c s_{1c} + G \right] \quad (10)$$

$$2n_c = \left[2n_1 E_{1c} + n_c E_{cc} - q 2n_1 s_{1c} + \frac{4n_1 q}{2n_1 + n_c} n_c s_{1c} + G \right] \quad (11)$$

$$\alpha_q^m = 1 - \frac{E_{1c} - q s_{1c}}{E_{11} - 2 - E_{1c} + q s_{1c}} \quad (12)$$

交通料金課金前の企業の立地分布比率は式(13)となる。

$$\alpha_{q=0}^m = \frac{E_{cc} - 2E_{1c} - 2}{E_{cc} - E_{1c} - 2} \quad (13)$$

b) 社会的最適

社会的最適な状態では社会厚生として、企業の利潤+開発者の利潤+総地代を最大化する。このときの企業の立地数は式(14)と(15)、分布比率は式(16)となる。

$$n_1^s = \frac{G(2E_{cc} - 2E_{1c} - 2)}{\{8(E_{1c})^2 - (2E_{cc} - 2)(2E_{11} - 2)\}} \quad (14)$$

$$n_c^s = \frac{G(2E_{11} - 4E_{1c} - 2)}{\{8(E_{1c})^2 - (2E_{cc} - 2)(2E_{11} - 2)\}} \quad (15)$$

$$\alpha^s = \frac{E_{11} - 2E_{1c} - 1}{E_{11} - E_{1c} - 1} \quad (16)$$

立地密度を課税前の市場均衡と社会的最適状態で比べると、各ゾーンにおける生産量から課税前の交通費用をひいた値 E が2倍となるとき社会的最適状態となる。つまり、コミュニケーショントリップ s_{ij} によって得られる生産量から課税前の交通費用をひいた量 E_{ij} を各企業に補助金として与えると達成できる。

c) 企業数変化量

ここで、市場均衡状態において交通料金 q による企業数の変化は市場均衡式を q で微分することで得られる $(dn_1/dq, dn_c/dq)$ 。課金前の分布比率 α と弾力性 ε の大きさによって、交通料金の課金が立地分布に与える影響は異なることがわかった。表1にその影響を示す。

「集積」は分布比率 α が大きくなる場合であり、「分散」は小さくなる場合を示している。

表1 開放都市モデルにおける企業立地の変化

	$\alpha < 2$	$2 < \alpha$
$\varepsilon > 1$	集積 (i) $dn_c/dq > dn_1/dq$	分散 (ii) $dn_c/dq < dn_1/dq$
$\varepsilon < 1$	分散 (iii)	集積 (iv)

(2) 閉鎖都市モデルにおける立地分布の変化

総企業数を固定することで、企業には経済状態によって利潤 π_i^f が発生することになる。ただし、ゾーン間での立地点の変更は自由であるため、立地点に関わらず各企業の利潤は等しくなる。

a) 市場均衡

企業が決定するフロアレントは式(1)より、

$$r_i^{mf} = \{X_i(s_{ij}) - T_i(s_{ij}) + u - \pi^f\} \quad (18)$$

となる。ゾーン1, c に関して整理すると式(7)より

$$2n_1 = \left[\frac{n_1 E_{11} + n_c E_{1c} - qn_c s_{1c}}{+ \frac{4n_1 q}{2n_1 + n_c} n_c s_{1c} + G - \pi^f} \right] \quad (19)$$

$$2n_c = \left[\frac{2n_1 E_{1c} + n_c E_{cc} - q2n_1 s_{1c}}{+ \frac{4n_1 q}{2n_1 + n_c} n_c s_{1c} + G - \pi^f} \right] \quad (20)$$

となり、このときの企業立地数は式(21)と(22)、立地分布の比率は式(23)、課税前の立地密度は式(24)となる。

$$n_{1q}^m = \frac{\bar{n}(E_{cc} - E_{1c} - 2 + qs_{1c})}{3E_{11} - 4E_{1c} - 6 + 4qs_{1c}} \quad (21)$$

$$n_{cq}^m = \frac{\bar{n}(E_{11} - 2E_{1c} - 2 + 2qs_{1c})}{3E_{11} - 4E_{1c} - 6 + 4qs_{1c}} \quad (22)$$

$$\alpha_q^m = 1 - \frac{E_{1c} - qs_{1c}}{E_{11} - E_{1c} - 2 + qs_{1c}} \quad (23)$$

$$\alpha_{q=0}^m = \frac{E_{cc} - 2E_{1c} - 2}{E_{cc} - E_{1c} - 2} \quad (24)$$

b) 社会的最適

開放都市と同様に社会厚生を最大化する。

$$n_1^s = \frac{\bar{n}(E_{11} - E_{1c} - 1)}{(3E_{11} - 4E_{1c} - 3)} \quad (25)$$

$$n_c^s = \frac{\bar{n}(E_{11} - 2E_{1c} - 1)}{(3E_{11} - 4E_{1c} - 3)} \quad (26)$$

市場均衡での立地数と比較すると、開放都市モデルと同

様に、各ゾーンにおける生産量から課税前の交通費用をひいた値 E が2倍となるときの社会的最適状態となる。

c) 企業数変化量

市場均衡状態での交通料金 q による企業数の変化 $dn_1/dq, dn_c/dq$ は、表2に示すように、弾力性 ε に関わらず、課金前の分布比率 $\alpha = 2$ を境界として、分散と集積が促進される。

表2 閉鎖都市モデルにおける企業立地の変化

$\alpha < 2$	$2 < \alpha$
分散 (v)	集積 (vi)

立地外部性によって、市場均衡の企業立地分布は社会効率的状态よりも分散している。上記の分析から、交通料金による立地外部性の緩和には、都市の開放性と現状の集積度、および交通需要の弾力性が大きく影響することがわかる。例えば、開放都市において、企業の集積度が小さく、交通需要弾力性が1以下の場合、交通料金政策を行うと、企業は分散して立地外部性を悪化させることがわかる。

4. 社会厚生への影響

交通料金 q の増加による社会厚生への効果は次のように表せる。

$$\frac{dW}{dq} = \frac{dn_1}{dq}(2n_1 E_{11} + 2n_c E_{1c}) + \frac{dn_c}{dq}(n_c E_{11} + 2n_1 E_{1c}) - 4n_c \varepsilon s_{1c} \quad (27)$$

式(27)の1・2項目は立地外部性の変化量、3項目は交通市場における死荷重を表す。 $\varepsilon (>0)$ は交通需要弾力性であり、弾力性が大きいほど死荷重は大きくなる。また、式(27)は集積度 α および企業総数 \bar{n} を用いると式(28)のように表される。

$$\frac{dW}{dq} = \left[\begin{aligned} & \left\{ \alpha(2E_{11} - E_{1c}) + (2E_{1c} - E_{11}) \right\} \frac{2\bar{n}^2}{(2+\alpha)^3} \frac{d\alpha}{dq} \\ & + \left\{ \alpha(\alpha+1)(E_{11} + E_{1c}) \frac{2\bar{n}}{(2+\alpha)^2} \frac{d\bar{n}}{dq} \right\} \\ & - \varepsilon s_{1c} \frac{4\bar{n}^2 \alpha}{(2+\alpha)^2} \end{aligned} \right] \quad (28)$$

1項目は、 $E_{11} > E_{1c}$ が交通需要の弾力性により常に成り立つため、集積度が大きくなればなるほど集積度の増加による社会厚生へのプラスの効果は大きくなることわかる。2項目は、常に正なので総企業数の増加が社会厚生へプラスの効果を与えることがわかる。3項目は死荷重による効果で社会厚生へはマイナスの影響を与える。しかし、集積度があがることでマイナスの効果は減少する。よって集積度をあげさせる条件を示すことが重要であるといえる。

(1) 立地外部性と集積の経済

閉鎖都市モデルにおいて、総企業数の変化による社会厚生の変化量を示す。

$$\frac{dW}{d\bar{n}} = \begin{pmatrix} 2(2n_1(E_{11}-1) + 2n_c E_{1c} + G) \frac{dn_1}{d\bar{n}} \\ + (4n_1 E_{c1} + 2n_c(E_{11}-1) + G) \frac{dn_c}{d\bar{n}} \\ + \bar{n}G \end{pmatrix} \quad (29)$$

総企業数の増加に伴う各ゾーンの企業数の増加は、社会厚生を増加させることになり、集積の経済が生じたといえる。また、密度が上がることで社会厚生が増加する、という点から考えても、立地外部性が存在することが、集積の経済を生じさせる原因であるといえることができる。

(2) 数値計算

本研究では表 1, 2 に示して(i)~(vi)について社会厚生の変化と各ゾーンの企業数の変化量と社会厚生について数値シミュレーションを行った。ここではそのうちの(iii)(iv)について示す。 ρ は単位交通コストに対する交通税率であり、値が負のときは補助金となる。交通弾力性は $\varepsilon=0.7$ と設定した。

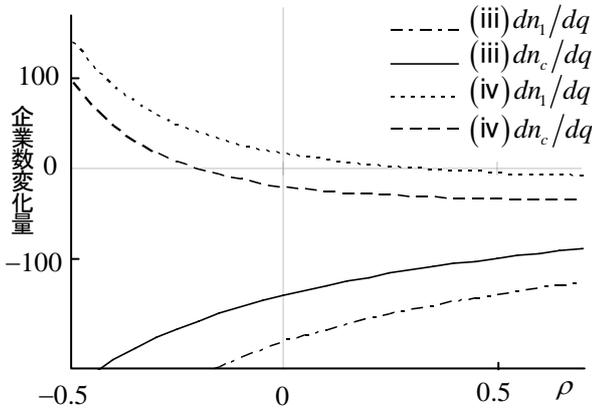


図1 (iii)(iv)での企業数の変化量

図1は、ある課税状態から交通税負担率を変化させたときの企業数変化量を示す。(iii) $\alpha > 2$ のとき、企業数変化量はいずれのゾーンでも減少している。しかし、変化量をみると中心であるゾーンCの減少量の方が小さく、集中度は増すことがわかる。元の集積度の違いによるシミュレーションによっても解析解と同様に、元の集中度が高い場合((iii) $\alpha > 2$)は立地分布は集中度が増し、元の集中度が低い場合((iv) $\alpha < 2$)は立地分布は分散状態が進むことが示された。

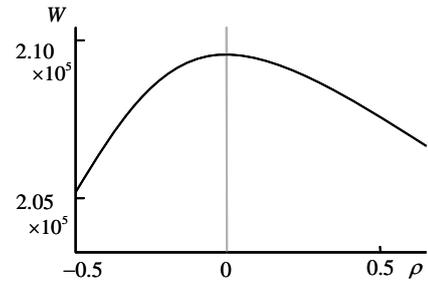


図2 (iii) $\alpha < 2, \varepsilon < 1$ での社会厚生の変化

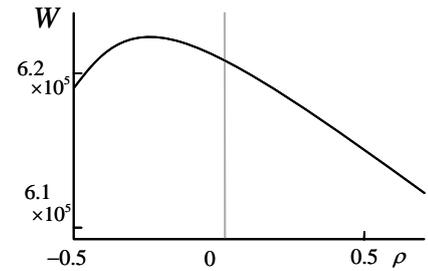


図3 (iv) $\alpha < 2, \varepsilon < 1$ での社会厚生の変化

図2, 3の横軸は交通税率 ρ 、縦軸は貨幣価値換算した社会厚生 W を示す。今回のシミュレーションでは、(iii)ではほぼ料金賦課なし、(iv)では約25%の補助金をすることで社会厚生を最大化することができるという結果を得た。よって、料金政策では企業の立地密度と交通需要弾力性に合わせた料金設定が必要だといえる。

5. 結論

本研究では、交通料金が企業集積度を高める条件が、1)交通弾力性 < 1 かつ元の企業集積度が高い場合、または2)交通弾力性 > 1 かつ企業が元々分散の場合、であることを示した。さらに、社会厚生を立地外部性と交通市場の死荷重で社会厚生を表すとともに、集積度と企業総数変化で説明した。集積度が高いことでまた、立地外部性は集積の経済の原因となることを示した。

参考文献

- 1) Fujita, M. and Thisse, J.F. : Economics of Agglomeration. 2002
- 2) Kanemoto, Y. : Optimal Cities with Indivisibility in Production Interactions between Firms. JOURNAL OF URBAN ECONOMICS 27, 46-59. 1990
- 3) Ravinder, K. : Toll System as a Second-best Measure for Communication Externalities. 2007