【土木計画学研究・講演集 No.24(1) 2001年11月】

独占的競争下における交通施設整備の便益計測に関する一考察

A study of Benefit Evaluation of Transportation Improvement under Monopolistic Competition

岸昭雄*，河野達仁**，森杉壽芳***
By Akio KISHI*, Tatsuhito KONO**, Hisayoshi MORISUGI***

1. はじめに

交通施設整備は，通常，時間短縮効果といった交通条件の向上といういわゆる直接効果のみならず，生産性の向上，所得の増大といった波及効果や，混雑緩和，大気汚染等の外部効果をもたらす．波及効果や外部効果は間接効果と呼ばれ，通常，交通施設整備によって直接効果,間接効果の両方が発生する．しかしながら，ファーストベスト経済（全ての財の価格と限界費用が一致）下においては，間接効果は相殺し合って間接効果の順便益の合計額はゼロになる．したがって，発生ベースの直接効果の便益のみを推定することによって交通施設整備の便益計測を行うことができる．

現在交通施設整備の便益評価手法として広く用いられているのは，直接効果を便益の発生ベースで交通需要における消費者余剰として計測する消費者余剰アプローチである．しかしながら，これは本来ファーストベスト経済下でのみ成立する手法であり，実際経済のような税金，外部性，不完全競争等を含んだセカンドベスト経済下では成立しない．

セカンドベスト経済下における便益評価手法に関する研究では，ファーストベスト経済下における直接効果に加え，相殺されずに残る間接効果を検討するというアプローチが一般的である．しかしこの際，ファーストベスト経済下と同様に，直接効果を交通需要における消費者余剰の変化分として計測してよいのかという問題がある．そこで本研究では，セカンドベスト経済下における交通施設整備の直接効果の計測方法について，価格の歪みを含む，空間経済を考慮した独占的競争モデルを用いて考察を行う．

キーワード：公共事業評価法，整備効果計測法

* 学生員，東北大学大学院情報科学研究科
** 正員，博士（学術），東北大学大学院情報科学研究科
*** 正員，工博，東北大学教授　大学院情報科学研究科
（〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 06,
TEL 022-217-7501，FAX 022-217-7500）

2. 不完全競争モデルの枠組み

本研究では，Dixit=Stiglitz(1977)[1]の独占的競争モデルを空間経済に拡張したP.Krugman[2]のモデルを用いる．以下にモデルの概要を示す．

(1)独占的競争モデルの空間経済への拡張

農業と工業という 2 部門からなる経済を考える．農業部門はただ 1 つの同質的な財を生産し，工業部門は広範囲の差別化された財を生産する．

【消費者行動】

すべての消費者は，2 種類の財に関して以下のコブ＝ダグラス型効用関数を持ち，効用を最大化する．

$$V=\max U=\max M^{\mu}A^{1-\mu} \tag{1.1}$$

$$s.t.\quad p^{A}A+\int_0^n p(i)m(i)di=Y \tag{1.2}$$

ただし，$M=\left[\int_0^n m(i)^{\rho}di\right]^{1/\rho}$ (1.3)：工業品の消費を示す数量指数i：工業品の差別化を示すインデックス$(i\in[0,n])$，$m(i)$：多様な各財の消費量，n：利用可能な財の種類，μ：工業品への支出割合を表す定数$(0<\mu<1)$，ρ：工業品の多様性を選好する度合い$(0<\rho<1)$，Y：消費者の所得，p^{A}：農業品価格，$p(i)$：各工業品価格

この最大化問題を解くことにより，以下のように普通需要関数を得る．

$$A=(1-\mu)Y/p^{A} \tag{2.1}$$

$$M=\mu Y/G \tag{2.2}$$

$$m(j)=\mu Y\frac{p(j)^{-\sigma}}{G^{-(\sigma-1)}} \tag{2.3}$$

ただし，$\sigma=1/1-\rho$：任意の差別化された 2 財間の代替弾力性，$G=\left[\int_0^n p(i)^{1-\sigma}di\right]^{1/(1-\sigma)}$ (2.4)：工業品の価格指数

【輸送費用】

工業品の輸送には費用がかかるとする．その輸送費用は氷塊型と仮定する．つまり，1 単位の工業品が立地点rから別の立地点sに輸送されると，その

うち$1/T_{rs}^M$だけが実際に到着する．立地点rで生産される財の種類をn_r，これらの工場渡し価格をp_r^Mと表すと，この財の消費地点sにおける送達価格p_{rs}^Mは，以下の関係式によって与えられる．

$$p_{rs}^M = p_r^M T_{rs}^M \qquad (3)$$

立地点sの価格指数をG_sと表す．氷塊輸送に加え，すべての種類の工業品の工場渡し価格が等しいと仮定すれば，(2.4)式よりG_sは以下のように表される．

$$G_s = \left[\sum_{r=1}^{R} n_r \left(p_r^M T_{rs}^M\right)^{1-\sigma}\right]^{\frac{1}{1-\sigma}} \quad ,s=1,\cdots,R \qquad (4)$$

立地点rで生産された財に対する立地点sにおける消費需要q_{rs}^Mは，(2.3)式より以下のようになる．

$$q_{rs}^M = \mu Y_s \left(p_r^M T_{rs}^M\right)^{-\sigma} G^{\sigma-1} \qquad (5.1)$$

q_{rs}^MをT_{rs}^M倍し，さらに販売されていく地域に関して合計することで，立地点rで生産される工業品rの総販売量q_r^Mを以下のように導くことができる．

$$q_r^M = \mu \sum_{s=1}^{R} Y_s \left(p_r^M T_{rs}^M\right)^{-\sigma} G_s^{\sigma-1} T_{rs}^M \qquad (5.2)$$

【生産者行動】

農業品は完全競争市場のもとで収穫不変の技術により生産される一方，工業品の生産には規模の経済があるものと仮定する．生産技術はすべての財の種類ならびにすべての立地点に関して同じであり，固定的インプットFと限界的インプットc^Mを必要とする．労働を唯一のインプットであると仮定すれば，任意の立地点におけるどの種類の財の生産にも，q^Mを生産量とすれば，以下の労働投入量が必要となる．

$$l^M = F + c^M q^M \qquad (6)$$

また，規模の経済，消費者の多様性の選好，および供給できる財の種類に制限がないことから，どの企業も唯一の特化した財を生産する．したがって，生産を行う企業の数は供給される財の種類に等しい．

次に，立地点rにおいて所与の賃金率w_r^Mに直面しつつ，ある特定の種類の財を生産する１つの企業を考える．この企業の利潤π_rは以下のようになる．

$$\pi_r = p_r^M q_r^M - w_r^M \left(F + c^M q_r^M\right) \qquad (7)$$

各企業は価格指数G_sを所与として自分の価格を設定し，さらに利潤または損失に応じて自由に企業の参入・退出が起こると仮定すると，利潤最大化条件および利潤ゼロの条件より，均衡状態に置いては，どの企業の生産量も以下のように表される．

$$q^* = F(\sigma - 1)/c^M \qquad (8.1)$$

このとき，均衡労働投入量は以下のようになる．

$$l^* = F + c^M q^* = F\sigma \qquad (8.2)$$

なお，q^*およびl^*は経済で生産を行っている企業すべてに共通の定数である．そこで，L_r^Mを立地点rにおける工業労働者の数，n_rを立地点rにおいて工業品を生産する企業の数（＝財の種類）とすれば，n_rは以下のように表される．

$$n_r = L_r^M / l^* = L_r^M / F\sigma \qquad (8.3)$$

以上より，企業の利潤がゼロになるということは企業がq^*だけの生産を行うという条件に等しいことが分かる．需要関数(5.2)より，次の条件が満たされれば立地点rの企業はこの生産量を達成できる．

$$q^* = \mu \sum_{s=1}^{R} Y_s \left(p_r^M\right)^{-\sigma} \left(T_{rs}^M\right)^{1-\sigma} G_s^{\sigma-1} \qquad (9)$$

上式を変形すれば，生産を行う企業の直面する工場渡し価格p_r^Mは以下のように表される．

$$\left(p_r^M\right)^{\sigma} = \frac{\mu}{q^*} \sum_{s=1}^{R} Y_s \left(T_{rs}^M\right)^{1-\sigma} G_s^{\sigma-1} \qquad (10)$$

さらに企業の利潤最大化条件を上式に代入することによって，以下に示す賃金方程式が導かれる．

$$w_r^M = \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma c^M}\right) \left[\frac{\mu}{q^*} \sum_{s=1}^{R} Y_s \left(T_{rs}^M\right)^{1-\sigma} G_s^{\sigma-1}\right]^{1/\sigma} \qquad (11)$$

【規準化】

本モデルでは多数のパラメータが存在することによって各式が複雑になっているため，企業の固定的インプットFと限界的インプットc^Mを以下のように規準化することによって，それらを単純化する．

$$c^M = (\sigma - 1)/\sigma \ (= \rho) \qquad (12.1)$$

$$F = \mu / \sigma \qquad (12.2)$$

以上の規準化により，価格指数（2.4）および賃金方程式(11)は以下のように書き改められる．

$$G_r = \left[\frac{1}{\mu} \sum_{s=1}^{R} L_s^M \left(w_s^M T_{sr}^M\right)^{(1-\sigma)}\right]^{1/(1-\sigma)} \qquad (13.1)$$

$$w_r^M = \left[\sum_{r=1}^{R} Y_s \left(T_{rs}^M\right)^{1-\sigma} G_s^{\sigma-1}\right]^{\frac{1}{\sigma}} \qquad (13.2)$$

(2) 核－周辺モデル

前節で述べられた枠組みに，さらに仮定を設ける．２つの地域（地域１，地域２）からなり，そこには独占的競争の行われる工業部門Mと完全競争的な農業部門Aが存在する．各部門はそれぞれ工業労働者，農業労働者という１種類だけの資源を用いて生産を

行う．経済全体にはμだけの工業労働者が存在し，$1-\mu$だけの農業労働者が存在する．さらに，農業労働者は移動不可能であり，両地域に均等に分布している一方，工業労働者は地域間を自由に移動可能とする．λを工業労働供給に占める地域1のシェアーをλとする．さらに，農業品の輸送には費用がかからないと仮定する．これより，農業労働者は地域によらず同じ賃金率を受け取る．この賃金率を価値尺度として，1とする．

このとき，モデルの均衡は，各地域における所得，工業品の価格指数，工業労働者の賃金率および工業労働者の効用を決定する以下の連立方程式体系で表される．

$$Y_1 = \mu\lambda w_1 + (1-\mu)/2 \quad (14.1)$$

$$Y_2 = \mu(1-\lambda)w_2 + (1-\mu)/2 \quad (14.2)$$

$$G_1 = \left[\lambda w_1^{1-\sigma} + (1-\lambda)(w_2 T)^{1-\sigma}\right]^{1/(1-\sigma)} \quad (14.3)$$

$$G_2 = \left[\lambda (w_1 T)^{1-\sigma} + (1-\lambda) w_2^{1-\sigma}\right]^{1/(1-\sigma)} \quad (14.4)$$

$$w_1 = \left[Y_1 G_1^{\sigma-1} + Y_2 G_2^{\sigma-1} T^{1-\sigma}\right]^{1/\sigma} \quad (14.5)$$

$$w_2 = \left[Y_1 G_1^{\sigma-1} T^{1-\sigma} + Y_2 G_2^{\sigma-1}\right]^{1/\sigma} \quad (14.6)$$

$$V_1 = \mu^{\mu}(1-\mu)^{1-\mu} w_1 G_1^{-\mu} \quad (14.7)$$

$$V_2 = \mu^{\mu}(1-\mu)^{1-\mu} w_2 G_2^{-\mu} \quad (14.8)$$

3. モデルの均衡解の導出

(1) 均衡解の導出

前述の核－周辺モデルより，均衡解を導出する．(14.1)～(14.8)式の連立方程式体系は$\lambda=1$，$\lambda=1/2$のとき，それぞれ以下の均衡解を持つ．

【核－周辺均衡】$(\lambda=1)$

$$Y_1 = (1+\mu)/2,\quad Y_2 = (1-\mu)/2,\quad G_1 = 1,\quad G_2 = T$$

$$w_1 = 1,\quad w_2 = \left(\frac{1+\mu}{2}T^{1-\sigma} + \frac{1-\mu}{2}T^{\sigma-1}\right)^{\frac{1}{\sigma}}$$

$$V_1 = \mu^{\mu}(1-\mu)^{1-\mu}$$

$$V_2 = \mu^{\mu}(1-\mu)^{1-\mu}\left(\frac{1+\mu}{2}T^{1-\sigma} + \frac{1-\mu}{2}T^{\sigma-1}\right)^{\frac{1}{\sigma}} T^{-\mu}$$

【対称均衡】$(\lambda=1/2)$

$$Y_1 = Y_2 = 1/2,\quad G_1 = G_2 = \left(\frac{1+T^{1-\sigma}}{2}\right)^{\frac{1}{1-\sigma}},\quad w_1 = w_2 = 1$$

$$V_1 = V_2 = \mu^{\mu}(1-\mu)^{1-\mu}\left(\frac{1+T^{1-\sigma}}{2}\right)^{-\frac{\mu}{1-\sigma}}$$

(2) 均衡解の安定性

均衡解の安定性については，均衡解付近におけるV_1, V_2を比較すればよい(詳細は参考文献[2]参照)．

図1は，$\sigma=5$，$\mu=0.4$の場合のTの変化による均衡解の変化を描いている．ただし，実線が安定解，破線が不安定解であり，図中の$T(B)$は対称均衡が不安定となる点（ブレークポイント），$T(S)$は核－周辺均衡がいったん確立されると維持される点（サステインポイント）を示している．

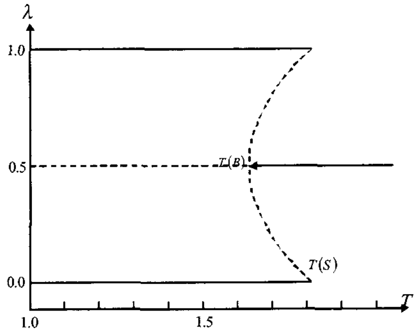

図1　均衡解の変化

4. 交通施設整備による便益の計測

前章より，本モデルにおいては輸送費用を表すパラメータTによって対称均衡もしくは核－周辺均衡をとることを示した．したがって，輸送費用をT_0からT_1に減少させるような交通施設整備を考えた場合，以下の3つのケースが考えられる．それぞれの場合について，交通施設整備の便益計測方法を検討する．

(1) 核－周辺均衡下での交通施設整備$(T(B) < T_0)$

このとき，地域間の工業品の輸送はゼロであるため，明らかに交通施設整備の便益はゼロである．

(2) 対称均衡下での交通施設整備$(T(B) < T_1 < T_0)$

消費者の効用関数(1.1)および制約条件(1.2)より，消費者の所得の限界効用ηは以下のように表される．

$$\eta = \mu^{\mu}(1-\mu)^{1-\mu} G^{-\mu} \quad (15)$$

交通施設整備による便益Bを$B = L^M\, dV/\eta$（L^M：工業労働者の総人口）と仮定すれば，Bは以下のように表される．

$$B = -\mu^2 T^{-\sigma}(1+T^{1-\sigma})^{-1} dT \quad (16)$$

一方，地域 1 で生産を行うある 1 つの企業iに注目する．立地点 2 におけるi財の需要q_iは，(5.1)式より，以下のように表される．

$$q_i = \mu T^{-\sigma}\left(1+T^{1-\sigma}\right)^{-1} \tag{17}$$

また，(8.3)式より，各地域で生産される財の種類はそれぞれ1/2だから，他地域に移出される財の量の総計qは以下のようになる．

$$q = \mu T^{-\sigma}\left(1+T^{1-\sigma}\right)^{-1} \tag{18}$$

さらに，消費者に届く財 1 単位につき交通μ単位を消費すると仮定すれば，地域間の総交通需要tは以下のように表される．

$$t = \mu q = \mu^2 T^{-\sigma}\left(1+T^{1-\sigma}\right)^{-1} \tag{19}$$

このとき，(16)，(19)式より，交通施設整備による便益Bは，交通需要における消費者余剰の変化分として計測すればよいことが分かる．

(3) 対称均衡下での交通施設整備$\left(T_1 < T(B) < T_0\right)$

このケースでは，交通施設整備によって対称均衡から核－周辺均衡へと均衡が移行する．このとき，前節で導出した交通需要関数tは，$T=T(B)$において不連続となる．交通需要関数tは$T(B)$の前後において以下のように表される．

$$t = \mu^2 T^{-\sigma}\left(1+T^{1-\sigma}\right)^{-1} \quad (T > T(B)) \tag{20.1}$$

$$t = 0 \quad (T < T(B)) \tag{20.2}$$

$\sigma = 5$，$\mu = 0.4$の場合の交通需要曲線$t(T)$を**図 2**に示す．

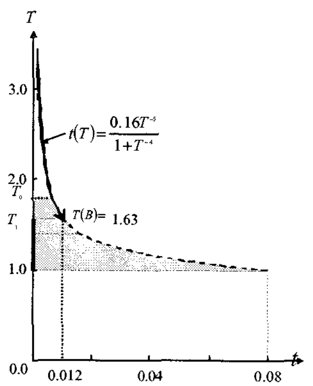

図 2　交通需要曲線（$\sigma = 5$，$\mu = 0.4$）

図 2において，交通施設整備によって輸送費用が$T_0(>T(B))$から$T_1(<T(B))$へ減少した場合，このプロジェクトの便益は交通需要関数における消費者余剰の変化分として求めることはできない．交通需要関数が不連続であり，積分不可能だからである．また，$T=T(B)$において均衡が対称均衡から核－周辺均衡へと移行し，その際効用が不連続に変化しているため，T_0～$T(B)$のTに関する積分と$T(B)$～T_1のTに関する積分を別途計算し，それらを足し合わせても真の便益を求めることはできない．

$T=1$における対称均衡の均衡値と核－周辺均衡の均衡値とが一致することに注目すれば，真の便益は**図 2**における影部分の面積で表される．

5. おわりに

本研究では，セカンドベスト経済の一特殊例である独占的競争モデルを用いて交通施設整備の直接効果の便益評価方法を考察した．その結果，交通施設整備によって対称均衡から核－周辺均衡へと均衡が変化する場合，通常の便益計測手法である交通需要における消費者余剰アプローチは適用できないことを示した．この場合の便益計測方法は，本モデルに限っては，対称均衡における交通需要関数を$T=T_0$から$T=1$まで積分すればよいことが分かる．

一方本研究では，交通施設整備の便益を地域間の移動が可能な工業労働者に限定して導出しているものの，本来交通施設整備は移動不可能な農業労働者にも便益（もしくは不便益）をもたらすという問題点がある．しかしながら，移動不可能な農業労働者の仮定は，集積を促進するいわゆる home market を外生的に与えることを示しており，他の要因の仮定によって home market を外生的に与えれば，この問題点は解決される．

なお本研究は非常に特殊な一例を取り上げて考察を行っているため，より一般的な議論が必要になることは否めない．

参考文献】

1) Dixit,A.K.,and J.E.Stiglitz.(1977), "Monopolistic competition and optimum product diversity.", *American Economic Review 67(3), pp.297-308*

2) Masahisa Fujita, Paul Krugman, and Anthony J. Venables (1999) : The Spatial Economy : Cities, Regions, and International Trade, MIT Press