

外部経済がある場合の交通改善の簡易的な効果計測方法

樋野誠一／計量計画研究所（IBS）

キーワード

より幅広い経済効果，費用便益分析，外部性，交通改善

交通改善の評価に際して，日本の費用便益分析マニュアルでは時間短縮を計測する直接便益が主流であるが，英国の費用便益分析マニュアルでは直接便益だけでなく外部効果も含めた便益を計測している。

一方で，外部効果を計測する場合，日本では大規模な数値解析の一般均衡分析の適用が見受けられるが，英国の費用便益分析マニュアルでは，直接便益以外の外部効果の項だけを算定する簡便法を提案している。

本稿は，英国の費用便益分析マニュアルが，経済理論の一般均衡に基づき理論整合的に外部効果を計測し，マニュアル化していることを示す。

そして，外部効果がある場合の間接効果の計測方法について，大規模な数値解析の一般均衡モデルを適用せずとも，英国式の算定方法で十分であることを，数値解析の一般均衡モデルと，英国の算定方法との比較により実証分析として検証するものである。

以上を受けて，実務における間接効果を計測する際の簡便かつ適用的な手法を提案する。

Simple measurement method of transport improvement effect in case of an external economy

Seiichi HINO (Institute of Behavioral Sciences)

Keywords: transport improvement, project evaluation, external economy

JEL classifications:

In evaluating transport improvement, direct benefits are mainly used in Japanese cost benefit analysis manual. On the other side, not only direct benefit but also indirect effects including external effect are mainly used in UK cost benefit guidance.

In the case of measuring external effects, spatial computable general equilibrium analysis (CGE) are generally applied in Japan, but the UK guidance proposes a simple method are applied to calculate only external effect term without direct benefits.

This paper shows that the UK guidance measuring the external effect are consistent with the theoretical general equilibrium approach.

Comparing simple model in UK and CGE, the simple model is sufficient to apply in an empirical analysis. I propose a simple and applicable method for measuring indirect effects in practice project.

外部経済がある場合の交通改善の簡易的な効果計測方法

樋野誠一／計量計画研究所（IBS）

1. はじめに

交通改善の評価に際して、日本の費用便益分析マニュアルでは時間短縮を計測する直接便益が主流であるが、英国の費用便益分析マニュアルでは直接便益だけでなく外部効果も含めた便益を計測している。

一方で、外部効果を計測する場合、日本では大規模な数値解析の一般均衡分析の適用が見受けられるが、英国の費用便益分析マニュアルでは、直接便益以外の外部効果の項だけを算定する簡便法を提案している。

本稿は、英国の費用便益分析マニュアルが、経済理論の一般均衡に基づき理論整合的に外部効果を計測し、マニュアル化していることを示す。

そして、外部効果がある場合の間接効果の計測方法について、大規模な数値解析の一般均衡モデルを適用せずとも、英国式の算定方法で十分であることを、数値解析の一般均衡モデルと、英国の算定方法との比較により実証分析として検証するものである。

以上を受けて、実務における間接効果を計測する際の簡便かつ適用的な手法を提案する。

本論文の構成は以下の通りである。第2章で、関連論文のレビューを行う。第3章で、英国の費用便益分析マニュアルの枠組みを示す。第4章で、外部効果がある場合の完全競争の枠組みで交通投資の便益式を示し、英国の費用便益分析マニュアルと比較する。また、数値計算との比較を行う。第5章で、不完全競争の枠組みで交通投資の便益式を示し、英国の費用便益分析マニュアルと比較する。第6章はまとめと課題を示す。

2. 既存研究のレビュー

本研究における関連論文のレビューを行う。具体的には、英国の費用便益分析マニュアルの理論的基礎となるベナブルの論文と、交通投資の効果を一般均衡の枠組みで捉える Kanemoto and Mera の論文、及び不完全競争モデルを代数的に展開できる Pfluger のモデルについて示す。

2.1 Venables (2007)

Venables(2007) ¹⁾は、都市経済学の一般均衡の枠組みで、外部効果がある場合の交通投資の便益を、移動時間の短縮便益、人口増加、所得増加、税の歪みの 4 要素で構成されると示した。

詳細は発表時に示す。

2.2 Kanemoto and Mera (1985)

Kanemoto and Mera (1985) ²⁾は、2 地域の完全競争市場を仮定した一般均衡モデルの枠組みで、交通投資の便益式を示した。外部効果が存在しない場合、一般均衡分析による交通投資の便益は移動時間の時間短縮のみの評価式に集約され、交通市場のみを考慮する便益計測式と同一となるという結論を導く。

今後詳細に記載する。

2.3 Pfluger (2004)

Pfluger (2004) ³⁾は、2 地域の不完全競争市場を仮定した新経済地理学モデルの枠組みで、交通投資の人口の集中・分散を代数的に分析できる枠組みを示した。このモデルは代数的に展開することが可能である長所を持つため、本稿の 5.章において、このモデルを使い交通投資の便益を算定することに活用できる。

今後詳細に記載する。

3. 英国ワイダーインパクト

本章では、英国の費用便益分析マニュアルが示す、直接便益以外の外部効果であるワイダーインパクトを示す。ワイダーインパクトの構成要素は、集積経済、生産増加、税収増加である。各構成要素を以下に示す。

3.1 ワイダーインパクト1：集積経済

(1) 算定式

英国の指針では、集積経済を下式で定式化している。交通整備前後のアクセシビリティ指標の伸び率に、一人あたり GDP と雇用者数を掛け合わせている。つまり、ゾーン i のアクセシビリティの伸びが、ゾーン i の GDP に影響するとしている。

$$WI1_i^{k,f} = \left[\left(\frac{d_i^{A,k,f}}{d_i^{B,k,f}} \right)^{\rho^k} - 1 \right] GDPW_i^{B,k,f} E_i^{B,k,f} \quad (3.1)$$

ここで、

d : アクセシビリティ指標

ρ : 弾力性パラメータ, $GDPW_i$: ゾーン i の一人当たり GDP

E_i : ゾーン i の雇用者数, A : 整備後 (代替) ケース, B : 整備前 (ベース) ケース,

k : 産業セクター, f : 予測年, i : 発ゾーン, j : 着ゾーン

(2) アクセシビリティ

アクセシビリティ指標は、英国のガイドラインでは下式の通り定式化している。発地域ゾーン i のアクセシビリティは、相手先 j ゾーン の雇用者数を OD 別・交通モード別にゾーン i - j 間の平均一般化費用で除したものと定義される。

$$d_i^{S,k,f} = \sum_{j,m} \frac{E_j^{S,f}}{(g_{i,j}^{S,m,f})^{a^k}} \quad (3.2)$$

ここで、

g : 一般化費用, a : 減衰パラメータ

m : 交通モード, S : シナリオ: A : 整備後, B : 整備前

k : 産業, i : 発ゾーン, j : 着ゾーン

(3) 概念

上式の導出は、技術的外部性を考慮したコブダグラス型の生産関数から導かれるとも言

える。生産関数は下式のコブダグラス型を定義する。

$$GDP = ACC^\beta \times L^\alpha \times K^{1-\alpha} \quad (3.3)$$

ここで、 ACC ：アクセシビリティ， L ：就業者数， K ：資本ストック。

アクセシビリティ変化による GDP の増加を算定すると，下式の関係が得られる。

$$dGDP = \beta \times \frac{dACC}{ACC} \times GDP \quad (3.4)$$

これは「ワイドーインパクト 1 = アクセシビリティの伸び \times GDP 」と同義である。

したがって，集積経済の効果は，生産関数の技術的外部性のパラメータ β が解かれれば，理論的整合性を持って簡便に算定できるものと言える。

3.2 ワイドーインパクト 3：不完全競争市場における生産増加

(1) 算定式

英国のガイドラインでは，不完全競争市場における生産増加を下式で定式化している。英国のガイドラインでは，交通改善による生産増加の便益は、業務目的の利用者便益の 10% に当たるとされている。

$$WI3^f = t \cdot BUB^f = 0.1 \cdot BUB^f \quad (3.5)$$

ここで、

BUB ：業務目的の利用者便益（Business User Benefit）

t ：不完全競争市場下のアップ・レート率（一定値のパラメータ）

(2) 概念

不完全競争便益の計測は，交通投資により限界費用が低下し，独占競争市場において財の供給が増加することで，消費者余剰の増加，すなわち超過利潤の減少、つまり社会的厚生損失の改善を捉えるものである。これは下図 3.1 の青箇所に対応する。

$$\text{不完全競争便益} = (p - MC) \times dq \quad (3.6)$$

ここで、価格弾力性 ε の定義に基づき下式(3.7)が展開される。価格変化 dp は限界費用の変化 dMC の一定倍 k と考えられる。

$$\frac{dq}{q} = \varepsilon \times \frac{dp}{p} = \varepsilon \times \frac{(k * dMC)}{p}$$

$$dq = \varepsilon \times \frac{k * dMC}{p} \times q \tag{3.7}$$

式(3.7)を式(3.6)に代入すると下式が導出される ($k \approx 1$ と近似)。

$$\text{不完全競争便益} = \left[\frac{(p - MC)}{p} \times \varepsilon \right] \times q \times dMC \tag{3.8}$$

(up-rate factor) (直接便益)

すなわち、不完全競争便益は直接便益(図の赤面積)の一定倍率(アップ・レート率)分であることが分かる。 $(p - MC)/p$ は独占競争市場におけるマークアップ率であり、 ε は価格弾力性である。いずれもパラメータであり、設定により算定される。

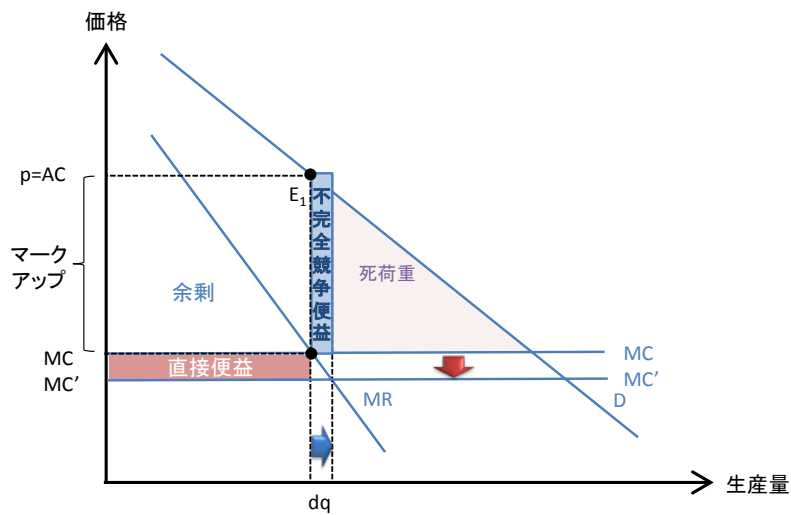


図 3.1 不完全競争市場における生産増加の計測

3.3 ワイダーインパクト 4：労働供給・労働者の移動から生じる税収増加

(1) 算定式

労働市場における変化がもたらす便益の主要部分は既に利用者便益の中に織り込まれているため、追加的な便益として税収の変化を計測する。税収の変化は下式で定式化される。

$$WI4^f = \tau_2 GP1^f + \tau_3 GP3^f = 0.4 GP1^f + 0.3 GP3^f \quad (3.9)$$

税収増加便益

= τ_1 ×労働供給増加による GDP 増加+ τ_2 ×労働者移動による GDP 増加

英国の指針では、労働供給の増加にかかる税率を、所得税等を考慮し GDP の 40% と設定している。また、労働者の移動にかかる税率を、法人税等を考慮し GDP の 30% と設定している。

$\tau_1=0.4$ ：労働供給の増加にかかる労働税率

(新規雇用者の平均所得の効果，営業余剰の増加，失業の減少の効果が含まれる)

$\tau_2=0.3$ ：生産性の増加にかかる労働税率（営業余剰の増加）

(2) 労働供給の変化による GDP の増減(GP1)

通勤コストの低下による新規雇用所得の増加を捉える。

交通網整備による移動費用の減少によって、労働供給が増加する便益については以下の通り定式化している。

$$GP1^f = \sum_i \left(-\varepsilon^{L,S} \left[\frac{\sum_j (G_{i,j}^{A,c,f} - G_{i,j}^{B,c,f}) W_{i,j}^{S,f}}{(1 - \tau_1) \sum_j (y_j^f W_{i,j}^{S,f})} \right] \sum_j (m_j^f W_{i,j}^{S,f}) \right) \quad (3.10)$$

労働供給増加による GDP 増加

$$= \sum_i \left(-\varepsilon \left[\frac{\sum_j (\text{一般化費用}_{i,j}^A - \text{一般化費用}_{i,j}^B) \times \text{通勤者数}_{i,j}^B}{(1 - \tau) \sum_j (\text{所得}_j^B \times \text{通勤者数}_{i,j}^B)} \right] \sum_j (\text{新規雇用者所得} \times \text{通勤者数}_{i,j}^B) \right)$$

=労働供給の賃金弾力性×（一般化費用の削減／税引後所得）×新規雇用者所得

ここで、

$$\text{労働供給の賃金弾力性} : \varepsilon = \frac{dLabor/Labor}{dwage/wage}$$

τ : 平均所得税率 ($\tau=30\%$: 所得税 22% + 法人税など考慮)

ij : ゾーン i, j

ε : 実効賃金に対する労働供給の弾性値, W_{ij} : ゾーン i から j への通勤者数,

m : 新規労働者の賃金, y : 従業地 j ベースでの総 (グロス) 平均所得,

τ : 平均所得税率 ($\tau=30\%$: 所得税を考慮), G : 往復の通勤目的の一般化費用,

$p=c$: 目的は通勤のみを対象とする.

移動費用の減少は、実質的には所得が増加することを示しており、弾性値を通して労働供給の変化に還元される。また、英国の指針では、新規労働者が得る賃金を既存労働者の賃金の 69% と設定している。

$$m_j^f = 0.69y_j^f \quad (3.11)$$

(3) 労働者の移動による GDP の増減(GP3)

交通整備により労働移動が生じ、労働生産性が向上し、GDP が増加する効果を捉える。

交通網整備によって生じる労働者の移動が GDP に与える影響について、下式で定式化される。ゾーン i における雇用者数の増減に、ゾーン別の労働生産性と一人あたり GDP (全地域平均) を掛け合わせることで、雇用者数の変化が GDP に与える影響を算出する。

$$GP3^f = GDPW^{N,f} \sum_i (E_i^{A,f} - E_i^{B,f}) PI_i \quad (3.12)$$

労働者移動による GDP 増加

$$= \text{一人あたり GDP} \sum_i \left(\text{雇用者数}_i^A - \text{雇用者数}_i^B \right) \times \text{労働生産性}_i$$

平均一人あたり GDP × 雇用者数変化 × 一人あたり生産性

PI_i : 地域 i の労働生産性

雇用者数の変化については、土地利用モデル (Land Use Transport Integrated モデル) を用いて推計する。英国では、計測が難しいため、通常は計測しないこととなっている。

4. 技術的外部性を考慮した完全競争モデル

ここでは、技術的外部性を考慮する場合の完全競争を仮定した一般均衡モデルにより、外部生がどのように定式化されるかを示す。

ここでの枠組みは、Kanemoto and Mera (1985) の枠組みに基づく。

4.1 モデルの仮定

- 2 地域があり、地域 1 と地域 2 は交通で結ばれている。
- 地域 1 は財 1 のみを生産する。地域 2 は財 2 のみを生産する。
- 各地域は両地域で生産される両財を需要する。両地域で生産される各財が、他地域で需要される場合は iceberg 輸送費 $\tau (>1.0)$ がかかる。
- 人口 L_i は地域間で移動しない (短期均衡の枠組み)。
- 資本 K_i は地域間で移動する。資本総量 \bar{K} は一定である ($K_1 + K_2 = \bar{K}$)。

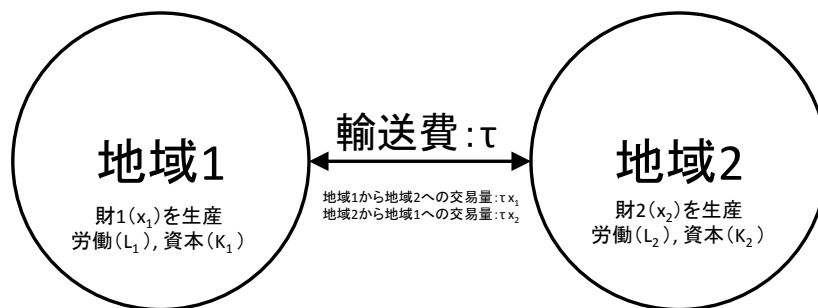


図 4.1 モデルの枠組み

本章では、上図 4.1 における地域間交通が整備されたときの外部性 (ワイドーインパクト) がどのような要素により構成されるかを代数的に示す。

4.2 消費者

地域 r の効用関数 U^r は下式の効用関数で表される。

$$U^r(x_1^r, x_2^r) \tag{4.1}$$

ここで、 x_i^r : 地域 r の財 i に対する需要である。

予算制約のもと、効用最大化を行う。例として、地域 1 の消費行動は下式の定式化となり、財 2 は地域 2 のみで生産されるため、財 2 の消費には輸送費 $\tau (> 1.0)$ がかかる。

$$\begin{aligned}
 & \max U^1(x_1^1, x_2^1) \\
 & \text{s.t. } p_1 x_1^1 + \tau p_2 x_2^1 = w_1 L_1 + f \bar{K} \frac{L_1}{L}
 \end{aligned} \tag{4.2}$$

ここで、 p_i : 財 i の価格、 x_i^r : 地域 r の財 i に対する需要、 w_r : 地域 r の賃金、 L_r : 地

域 r の労働者数, f : 資本価格である.

効用最大化問題を解くと, 地域 r の間接効用関数 V^r は下式で表現できる.

$$V^1\left(p_1, \tau p_2, w_1 L_1 + f \bar{K} \frac{L_1}{L}\right) \quad (4.3)$$

$$V^2\left(\tau p_1, p_2, w_2 L_2 + f \bar{K} \frac{L_2}{L}\right) \quad (4.4)$$

4.3 企業

地域 r で生産される財 r の生産 y_r は下式で求められる. ここで生産関数は, 技術的外部性 A_r を持つ. α_r : 労働分配率, $\gamma_r \geq 0$: 外部性パラメータである.

$$y_r = (L_r)^{\alpha_r} (K_r)^{1-\alpha_r} (A_r)^{\gamma_r} \quad (4.5)$$

財 r の利潤 Π_r は下式で定式化される.

$$\Pi_r = p_r y_r - w_r L_r - f K_r \quad (4.6)$$

上式の利潤関数を全微分する.

$$d\Pi_r = dp_r y_r + p_r dy_r - dw_r L_r - w_r dL_r - df K_r - f dK_r = 0 \quad (4.7)$$

一方, 生産関数の全微分は下式となる. 下式では財価格 p_r を乗じている.

$$p_r dy_r = p_r \frac{\partial y_r}{\partial L_r} dL_r + p_r \frac{\partial y_r}{\partial K_r} dK_r + p_r \frac{\partial y_r}{\partial A_r} dA_r \quad (4.8)$$

利潤最大化条件から下式が導かれる.

$$p_r \frac{\partial y_r}{\partial L_r} = w_r \quad (4.9)$$

$$p_r \frac{\partial y_r}{\partial K_r} = f \quad (4.10)$$

利潤最大化条件を利潤関数に代入すると下式が得られる.

$$d\Pi_r = dp_r y_r + p_r \frac{\partial y_r}{\partial A_r} dA_r - dw_r L_r - df K_r = 0 \quad (4.11)$$

4.4 均衡

財 1 の市場均衡は下式である. 財 2 の輸送に輸送費 τ がかかる.

$$y_1 = x_1^1 + \tau x_1^2 \quad (4.12)$$

財 2 の市場均衡は下式である． 財 1 の輸送に輸送費 τ がかかる．

$$y_2 = \tau x_2^1 + x_2^2 \quad (4.13)$$

労働市場均衡は下式である． 短期均衡の分析の解釈として， 地域間で人口は移動しない．

$$L_i = \bar{L}_i \quad (4.14)$$

$$dL_i = d\bar{L}_i = 0 \quad (4.15)$$

資本市場均衡は下式である． 資本は地域間で移動する．

$$K_1 + K_2 = \bar{K} \quad (4.16)$$

$$dK_1 + dK_2 = d\bar{K} = 0 \quad (4.17)$$

以上の経済でワルラス法則が成立する． ニュメールは資本価格 ($f=1$) とする．

4.5 便益

地域 1 および地域 2 の便益 B^1 ， B^2 の定義はそれぞれ下式である． λ は所得の限界効用である．

$$B^1 \equiv \frac{dV^1}{\lambda} = \frac{V_{p_1}}{\lambda} dp_1 + \frac{V_{\tau p_2}}{\lambda} dp_2 \tau + \frac{V_{(w_1 L_1 + f K_1)}}{\lambda} d(w_1 L_1 + f K_1) \quad (4.18)$$

$$B^2 \equiv \frac{dV^2}{\lambda} = \frac{V_{\tau p_1}}{\lambda} dp_1 \tau + \frac{V_{p_2}}{\lambda} dp_2 + \frac{V_{(w_2 L_2 + f K_2)}}{\lambda} d(w_2 L_2 + f K_2) \quad (4.19)$$

ロイの恒等式を用いて， 所得の限界効用 λ を消去すると下式が導かれる．

$$B^1 = -x_1^1 dp_1 - x_2^1 (\tau dp_2 + p_2 d\tau) + dw_1 L_1 + w_1 dL_1 + df K_1 + f dK_1 \quad (4.20)$$

$$B^2 = -x_1^2 (\tau dp_1 + p_1 d\tau) - x_2^2 dp_2 + dw_2 L_2 + w_2 dL_2 + df K_2 + f dK_2 \quad (4.21)$$

上式を足すと下式が導かれる．

$$\begin{aligned} B_1 + B_2 &= -dp_1 (x_1^1 + \tau x_1^2) \\ &\quad - dp_2 (\tau x_2^1 + x_2^2) \\ &\quad - dt (p_1 x_1^2 + p_2 x_2^1) \\ &\quad + dw_1 L_1 + w_1 dL_1 \\ &\quad + dw_2 L_2 + w_2 dL_2 \\ &\quad + df \bar{K} + f d\bar{K} \end{aligned} \quad (4.22)$$

利潤関数の全微分の関係式(4.11)と市場均衡式(4.15), (4.17)を上式に代入する.

$$\begin{aligned}
 B_1 + B_2 = & -dp_1(-y_1 + x_1^1 + \tau x_1^2) \\
 & -dp_2(-y_2 + \tau x_2^1 + x_2^2) \\
 & -dt(p_1 x_1^2 + p_2 x_2^1) \\
 & + p_1 \frac{\partial y_1}{\partial A_1} dA_1 + p_2 \frac{\partial y_2}{\partial A_2} dA_2
 \end{aligned} \tag{4.23}$$

財の市場均衡式(4.12), (4.13)を代入すると下式が導かれる.

$$\begin{aligned}
 B_1 + B_2 = & -dt(p_1 x_1^2 + p_2 x_2^1) \\
 & + p_1 \frac{\partial y_1}{\partial A_1} dA_1 + p_2 \frac{\partial y_2}{\partial A_2} dA_2
 \end{aligned} \tag{4.24}$$

第 1 項は地域間の金額ベースの輸送費削減効果 (物流にかかる直接便益) である.

第 2 項は集積経済の効果である (英国のワイダーインパクト 1 の集積経済).

(4.24)式の第 2 行に対して, コブダグラス型生産関数を仮定すると, 下式が導かれる.

$$\begin{aligned}
 B_1 + B_2 = & -dt(p_1 x_1^2 + p_2 x_2^1) \\
 & + \gamma_1 p_1 y_1 \frac{dA_1}{A_1} + \gamma_2 p_2 y_2 \frac{dA_2}{A_2}
 \end{aligned} \tag{4.25}$$

生産関数をコブダグラス型と仮定すると, 技術のパーセント伸び率×生産額×技術パラメータとなり, 英国の集積経済の定式化と類似する.

技術パラメータ $\gamma_r = 0$ であれば完全競争となり, 集積経済の効果は生じない.

第 2 行は英国マニュアルと同様の定式化であることが確認できる.

4.6 数値計算による確認

(1) 外部性が無い場合

ここでは, 数値計算による効果を捉える. 完全競争の外部効果がない場合を想定する.

以下のパラメータ設定で数値計算を行う. 実証分析ではコブダグラス型の効用関数を仮定する. 技術は各地域で同一とする. すなわち, $\alpha_r = 0.4$, $r \in 1, 2$ とする. 財 1, 2 の消費シェアは同じとする. すなわち, (0.5, 0.5)とする.

各地域の人口は同一とする. すなわち, $L_1 = 10$, $L_2 = 10$. 資本総量は $\bar{K} = 20$ とする. 整備前の輸送費は $\tau = 2.0$, 整備後の輸送費は $\tau = 1.5$ とする. ニュメレールは資本レントとする. すなわち, $f = 1.0$ である.

数値計算の結果は下表である. 数値計算でも理論展開と同様, 技術的外部性が無い場合は直接便益のみ捉えればよいことが分かる. 交易 x_{ri} , 効用 U 以外の変数は不変である.

表 4.1 外部性が無い場合の交通投資の効果

	t	f	w1	w2	p1	p2	U1	U2
Before	2.00	1.00	0.67	0.67	1.67	1.67	3.54	3.54
After	1.50	1.00	0.67	0.67	1.67	1.67	4.08	4.08

	y1	y2	L1	L2	K1	K2
Before	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
After	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00

	x11	x12	x21	x22
Before	5.00	2.50	2.50	5.00
After	5.00	3.33	3.33	5.00

直接便益
4.167

※赤字は事前事後で変化する変数である。

(4.25)式で評価すると下値が得られる。直接便益は 4.167 となる。

$$\begin{aligned}
 B_1 + B_2 &= -d\tau (p_1 x_1^2 + p_2 x_2^1) \\
 &= -(1.5 - 2.0) * (1.67 * 2.5 + 1.67 * 2.5) = 4.167
 \end{aligned}
 \tag{4.26}$$

(2) 外部性を考慮する場合

次に外部効果が存在する場合を想定する。上節(1)の設定に、外部性のパラメータを設定するだけである。 $\gamma_1 = 1.0$, $\gamma_2 = 1.0$ とする。ACCは 1.0とする。ニューメレールは資本レントとする。(f=1.0)

表 4.2 外部性が有る場合の交通投資の効果

	t	f	w1	w2	p1	p2	U1	U2
Before	2.00	1.00	0.67	0.67	0.11	0.11	53.0	53.0
After	1.50	1.00	0.67	0.67	0.10	0.10	68.0	68.0

	y1	y2	L1	L2	K1	K2
Before	150.0	150.0	10.0	10.0	10.0	10.0
After	166.7	166.7	10.0	10.0	10.0	10.0

	x11	x12	x21	x22	ACC1	ACC2
Before	75.0	37.5	37.5	75.0	15.0	15.0
After	83.3	55.6	55.6	83.3	16.7	16.7

直接便益	WI1
4.17	3.70

※赤字は事前事後で変化する変数である。

(4.25)式で評価すると下値が得られる。Afterの直接便益は 4.17, ワイダーインパクト 1 は 3.70 となる。

$$\begin{aligned}
B_1 + B_2 &= -dt (p_1 x_1^2 + p_2 x_2^1) \\
&\quad + \gamma_1 p_1 y_1 \frac{dA_1}{A_1} + \gamma_2 p_2 y_2 \frac{dA_2}{A_2} \\
&= -(1.5 - 2.0) * (0.11 * 37.5 + 0.11 * 37.5) (= 4.17) \\
&\quad + (16.7 - 15.0) / 15.0 * (0.11 * 150 + 0.11 * 150) (= 3.70)
\end{aligned}
\tag{4.27}$$

1) 発表時までの対応事項

ワイダーインパクトによる算定値と数値計算の算定値が合っているので、実証分析および実務において、数値計算は不要であり、ワイダーインパクトだけの算定で十分であることを結論とする。

課題は、 γ のパラメータがどのくらいであるか定かでないため、 γ のパラメータの実証推定が今後の研究の課題である。

5. 金銭的外部性を考慮した独占競争モデル

ここでは、金銭的外部性を考慮する場合の不完全競争を仮定した新経済地理学のモデルにより、外部性がどのように定式化されるかを示す。モデルは Pfluger(2004)に基づく。

5.1 モデルの仮定

Pfluger(2004)の仮定と同様であり、以下にまとめられる。

(1) 分析枠組みに関する仮定

- 2 地域があり、地域 1 と地域 2 は交通で結ばれている。
- 各地域にはそれぞれ種類の異なる財が生産され、それぞれの財は両地域で需要される。労働者 1 人がそれぞれ異なる 1 財を生産する。他地域へ輸送される場合は iceberg 輸送費 τ (>1.0) がかかる。
- 労働者 K_i は地域間で移動し、地域間で効用が均等化するように移動する（長期均衡の枠組み）。

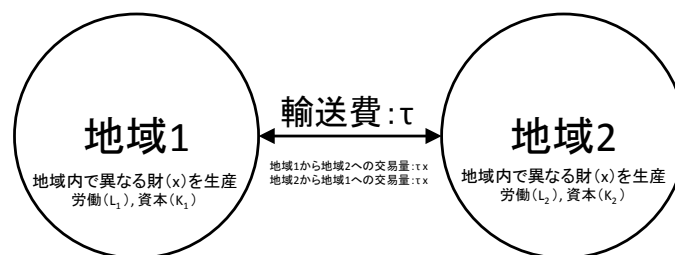


図 5.1 想定する地域構造

本章では、上図 5.1 における地域間交通が整備されたときの外部性（ワイドーインパクト）がどのような要素により構成されるかを代数的に示す。

(2) 生産に関する仮定

財は、異質財と同質財が存在する。労働者は、非熟練労働者と資本家が存在する。

同質財は、非熟練労働者のみにより完全競争で生産される。地域間の輸送費はゼロである。従って、同質財の価格は地域間で同一となり、これを基準価格（ニューメール）とする。

一方の異質財は、輸送費がかかる。輸送費は氷塊型輸送費を仮定する。各異質財は、1 人の資本家と、生産量に比例的な非熟練労働者により生産される。資本家は 1 企業のオーナーであり、各地域には資本家の数だけ財の種類（企業）が存在する。資本家は、地域間を効用水準に基づき移動し、その結果、地域間の効用は均等化する。

(3) 消費に関する仮定

資本家は、土地を消費する。その土地収入は資本家と非熟練労働者の国民一人ひとりに均等に分配される。また、資本家と非熟練労働者は、地域別に所得税が課される。その税収は国民一人ひとりに均等に分配される。

5.2 消費者

(1) 異質財と同質財の消費

効用関数は、Pflüger (2004) を参考に、準線形の効用関数を設定する。理由は、準線形の効用関数は、需要の所得効果が入らないために、代数的に解く際に計算が簡便となる特徴があるためである。下式(5.1)の所得制約式である。

$$U_r = \alpha \ln M_r + A_r \quad (5.1)$$

$$Y_r = G_r M_r + A_r$$

ここで、 U_r ：地域 r の効用、 M_r ：地域 r の異質財消費量、 A_r ：地域 r の同質財消費量、 Y_r ：地域 r の所得、 G_r ：地域 r の異質財の合成価格、 α ：異質財の消費シェア、 K_r ：地域 r の資本家数、 L_r ：地域 r の非熟練労働者数。

地域 r の一人当たり所得 Y_r は、資本家と非熟練労働者別に異なる。

$$Y_r = R_r \quad : \text{資本家の所得} \quad (5.2)$$

$$Y_r = w_r \quad : \text{非熟練労働者の所得}$$

ここで、 R_r ：資本レント、 w_r ：賃金である。

同質財は非熟練労働者を投入して完全競争により生産される。同質財の地域間の輸送費を 0 と仮定し、同質財の価格を 1 (ニューメール) とすると、全ての地域の非熟練労働者の賃金は 1 ($w_r = 1$) となる。同質財産業と異質財産業間で、非熟練労働者は移動可能であるため、異質財産業における非熟練労働者の賃金 (w_r) は同じく 1 となる。

異質財、同質財の需要は下式となる。異質財の需要には所得効果が生じない。

$$M_r = \frac{\alpha}{G_r} \quad (5.3)$$

$$A_r = Y_r - \alpha \quad (5.4)$$

この結果、間接効用関数は下式となる。生活費指数 G_r が低下すると、間接効用関数 V_r は向上する。

$$V_r = Y_r - \alpha \ln G_r + \alpha(\ln \alpha - 1) \quad (5.5)$$

(2) 異質財の消費

異質財に対する補償需要関数は下式となる.

$$x_{rs} = \left(\frac{G_s}{\tau_{rs} p_r} \right)^\sigma \frac{\alpha}{G_s} \quad (5.6)$$

ここで, x_{rs} : 地域 s の地域 r 財の需要量, τ_{rs} : 地域 r から s への輸送費, p_r : 地域 r の工場価格, σ : 代替弾力性 ($\sigma > 1.0$ である).

到着地 s での異質財の価格指数 G_s は下式となる.

$$G_s = \left[\sum_r^R n_r (\tau_{rs} p_r)^{1-\sigma} \right]^{\frac{1}{1-\sigma}} = \left[\sum_r^R n_r \phi_{rs} (p_r)^{1-\sigma} \right]^{\frac{1}{1-\sigma}} \quad (5.7)$$

ここで, G_s : 地域 s の異質財の合成価格. n_r : 財の種類, ϕ_{rs} ($\equiv (\tau_{rs})^{1-\sigma}$): 貿易自由度である. Iceberg 輸送費 τ は 1.0 以上であり, また代替弾力性 σ は 1.0 以上であるため, 貿易自由度 ϕ は 0.0 (即ち, 輸送費高: 自給自足, 閉鎖経済) 以上, 1.0 (即ち, 輸送費低: 自由貿易, 開放経済) 以下の値を取る.

5.3 生産

1 企業の総費用には 1 単位の資本家 K_r の投入に伴う費用 (レント) がかかる. ここで, 非熟練労働者の賃金 w_r はニューメール ($w_r = 1$) であり, 1 企業の生産には資本家 K_r が 1 単位 ($K_r = 1$) 必要であり, 非熟練労働者の労働需要は線形 ($L_r = cX_r$) とすると生産の総費用は下式となる.

$$TC_r = R_r K_r + w_r L_r = R_r + cX_r \quad (5.8)$$

ここで, c : 限界労働需要量.

独占的競争企業における利潤最大化行動に基づき独占的競争価格が決定される. 独占競争価格は地域によって無差別となる (地域 r のサフィックスが付かない).

$$p_r = \frac{\sigma}{\sigma - 1} c \equiv p \quad (5.9)$$

ここで, 代替弾力性は σ であり, 独占度を意味する.

価格が地域間で同一となる上式を反映して, (5.7)式は下式に書き換えられる.

$$G_s = p \left[\sum_r^R n_r \phi_{rs} \right]^{\frac{1}{1-\sigma}}$$

独占的競争に基づく利潤ゼロ条件により，1企業の生産量 X_r が求められる．

$$X_r = \frac{(\sigma - 1)R_r}{c} \quad (5.10)$$

財の種類は資本家の人数だけ存在する．

$$n_r = K_r \quad (5.11)$$

5.4 財市場均衡

輸送費はアイスバーグ型を仮定しているため，地域 r からの発送量は輸送費 τ_{rs} の分だけ多くなければならない．需要地 s の資本家と非熟練労働者を合わせた総人口が考慮される．

$$X_r = \sum_s^R x_{rs} \tau_{rs} (K_s + L_s) \quad (5.12)$$

財の需給均衡式(5.12)式に，(5.10)式，(5.6)式，(5.7)式，(5.9)式を代入することにより，資本家の賃金方程式が陽表的に得られる．

$$R_r = \frac{\alpha}{\sigma} \sum_s^R \frac{(\lambda_s + \rho_s) \phi_{rs}}{\sum_k^R \lambda_k \phi_{ks}} \quad (5.13)$$

ここで， $\lambda_s = \frac{K_s}{\bar{K}}$ ， $\rho_s = \frac{L_s}{\bar{K}}$ ， $\bar{K} = \sum_s^R K_s$ である．

5.5 効用水準

資本家の間接効用(5.5)式は下式に整理できる．Pflüger (2004) と同一である．

$$V_r = \frac{\alpha}{\sigma} \sum_s^R \frac{(\lambda_s + \rho_s) \phi_{rs}}{\sum_k^R \lambda_k \phi_{ks}} - \alpha \ln \left(p \left[\sum_s^R K_s \phi_{sr} \right]^{\frac{1}{1-\sigma}} \right) + \alpha (\ln \alpha - 1) \quad (5.14)$$

2 地域の枠組みでは、長期的には地域の効用が均等化するよう資本家の人口移動が生ずる．資本家シェア $\lambda_s = \frac{K_s}{\bar{K}}$ は下式の条件を持つ．

$$\lambda_2 = 1 - \lambda_1 \quad (5.15)$$

5.6 便益

便益の定義式は下式となる．準線形の効用関数を適用するので，所得の限界効用は $\mu = 1$ となる． dY_r は(5.2)と(5.10)より導出される． $\frac{dG_r}{G_r}$ は(5.7)より導出される．

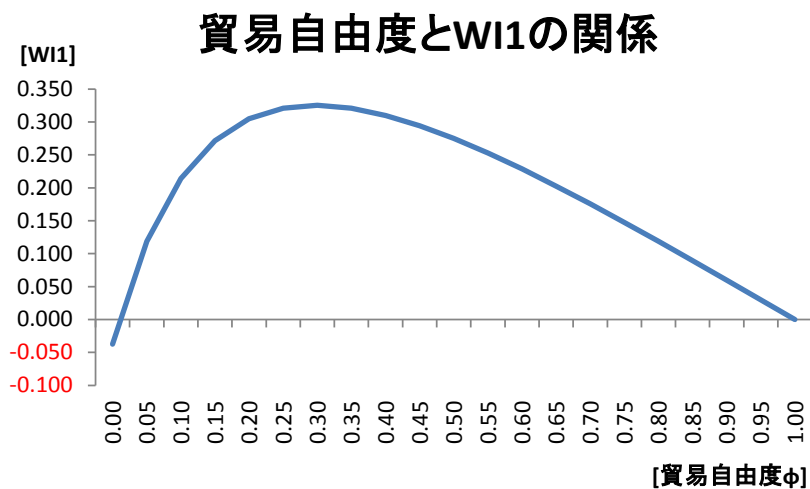
$$\begin{aligned}
B &\equiv B_1 + B_2 \equiv \sum_r \frac{dV_r}{\mu} (K_r + L_r) = \sum_r \left(dY_r - \alpha \frac{dG_r}{G_r} \right) (K_r + L_r) \\
&= -p x_{21} (K_1 + L_1) K_2 d\tau - p x_{12} (K_2 + L_2) K_1 d\tau \\
&\quad + \frac{\alpha}{\sigma-1} (1 - \phi) \left(\frac{K_1 + L_1}{K_1 + \phi K_2} - \frac{K_2 + L_2}{\phi K_1 + K_2} \right) dK_1 \\
&\quad + \frac{c}{\sigma-1} (K_1 dX_1 + K_2 dX_2)
\end{aligned} \tag{5.16}$$

第1項は、地域間の金額ベースの輸送費削減効果（物流にかかる直接便益）である。

第2項は、集積経済による物価低減効果（英国ワイダーインパクト1：集積経済）である。

第3項は、生産の増加（英国ワイダーインパクト3：生産増加）である。

集積経済について、 $L=1.0$ 、 $L_1=0.8$ 、 $K=0.01$ の定数を設定すると、以下の挙動が確認できる。貿易自由度が $\phi = 1$ （自由交易）の場合、交通整備の集積経済の効果は生じない（ワイダーインパクト1=0）。対して、貿易自由度が $\phi = 0.3$ のとき（交通整備が十分でない場合）、集積経済の効果（ワイダーインパクト1）は最大値を取る。



※ $L=1.0$ 、 $L_1=0.8$ 、 $K=0.01$ の定数を設定

自給自足←

→自由交易

図 5.2 貿易自由度とワイダーインパクトの関係

6. まとめ

本稿は、技術的外部性が存在する完全競争市場、および金銭的外部性が存在する不完全競争市場を仮定した一般均衡の枠組みで、交通投資の便益評価式を導出し、地域間交通が整備されたときの外部性（ワイドーインパクト）がどのような要素により構成されるかを代数的に示した。

主な結論は、ワイドーインパクトによる算定値と数値計算の算定値は合っており、実証分析および実務においては、直接便益は必ず実務においては算定されるため、数値計算の作業は不要であり、外部効果の算定のみで十分であるといえる。実務で算定される直接便益に、本研究で示される外部効果を足した効果が、交通投資の全体の効果と言える。英国では、この全体の便益を費用便益分析の便益として考慮している。

今後の研究の課題は、生産関数の外部性パラメータ γ がどのくらいであるか定かでないため、外部性パラメータの実証研究が今後の課題である。

参考文献

- 1) Venables, A.J., Evaluating Urban Transport Improvements Cost-Benefit Analysis in the Presence of Agglomeration and Income Taxation, Journal of urban economics, 2007,
- 2) Kanemoto, Yoshitsugu, and Mera, Koichi. "General equilibrium analysis of the benefits of large transportation improvements." Regional Science and Urban Economics, 15.3 (1985): 343-363.
- 3) Pflüger, M., "A simple, analytically solvable, chamberlinian agglomeration model", Regional science and urban economics, Vol.34, 2004, pp.565-573.
- 4) Department for Transport, Transport Analysis Guidance, 2013.10.
- 5) Department for Transport, TAG UNIT A2.1 Wider Economic Impacts Appraisal, 2016.9.

便益に含まれるものであることを示す

ワイドーインパクトの4はここでは見ない。都市モデルを構築することにより、出る。
tを入れることはある。

1期通貫でやることはあるのでは。

モデルが違う。

こういう定式化をしている以上、