

## S6-1-2 CUE モデルによる都市鉄道整備プロジェクトの評価

○ 樋野 誠一 (財) 計量計画研究所

[土] 林山 泰久 (東北大学大学院経済学研究科)

The Evaluation of Urban Railway Network Improvement Project by Computable Urban Economic Model

Seiichi HINO, Non-Member (The Institute of Behavioral Sciences)

Yasuhisa HAYASHIYAMA, Member (Graduate School of Economics and Management, Tohoku University)

The user's benefit which grasps an effect with a generating base cannot measure the long-term external effects which railway network improvement project gives to regional economy. Therefore, the equilibrium model expressing influencing of the effects are effective. The purpose of this study is to measure the long-term external effects of urban railway network improvement project by CUE(Computable Urban Economic Model). The external effects are measured with the indices of migration, labor, GRP, and land rent in each zone by CUE.

キーワード：CUE モデル，長期的外部効果

Keywords: Computable Urban Economic Model, Long-term External Effect

### 1. はじめに

鉄道整備が地域経済に与える長期的外部効果(経済活動や人口分布の変化)は、発生ベースで効果を把握する利用者便益の計測等では把握することができないことから、効果の波及を明示的に表現した均衡モデルである CUE モデル(Computable Urban Economic Model)の適用が不可欠となるであろうと考えられる。そこで、本研究では、地域経済への外部効果が大きい場合の鉄道整備プロジェクトに対して CUE モデルを適用し、その有用性について検討する。

### 2. CUE モデルの構築

#### 2.1 モデルの枠組みと仮定

本研究における CUE モデルは以下の仮定を置く。

- ① 鉄道が整備される都市圏を分析対象地域とし、都市圏の総世帯数を  $N$  とし、各世帯は 1 単位の労働を供給する。
- ② 都市圏内は複数のゾーン(ここでは 236 ゾーン)に分割され、ゾーン単位で居住地選択や買物先・通勤先選択行動を行うものとする。
- ③ 都市圏全体の地代収入・交通部門からの収入は都市圏に住む全家計に均等に分配されるものと仮定する。

#### 2.2 家計部門

都市圏内に居住する家計の効用  $u^{ijk}$  は(1)式のような Cobb-Douglas 型関数で表現される。家計の効用は、ゾーン  $i$  に居住し、買物先  $j$  で財を購入・消費し、通勤先  $k$  から所得を得ることにより得られることを意味している。

$$u^{ijk} = a_x \ln x^{ijk} + a_h \ln h^{ik}, \forall i, j, k \quad (1)$$

ここで、 $a_x$  : 財消費シェア、 $a_h$  : 土地消費シェアであり、

$a_x + a_h = 1$  の関係がある。 $x^{ijk}$  : 居住地  $i$ 、買物先  $j$ 、通勤先  $k$  である家計の財消費量、 $h^{ik}$  : ゾーン  $i$  に居住し、ゾーン  $k$  に通勤する家計の土地消費量である。

$$w^k l^{ijk} + \Omega = (p^j + \rho^j + 2\rho d^{ij})x^{ijk} + p_h^i h^{ik} + 2\rho d^{ik} \quad (2)$$

$$\bar{t} = l^{ijk} + 2t_s^{ij} x^{ijk} + 2t_c^{ik} \quad (3)$$

$$\text{where } \Omega = \frac{\left( \begin{array}{c} \sum_i p_h^i \Phi^i \bar{H}^i \\ + \sum_{i,j,k} (2\rho d^{ij} + \rho^j) N^{ijk} x^{ijk} \\ + \sum_{i,j,k} 2\rho d^{ik} N^{ijk} \end{array} \right)}{N}$$

(2)式は、所得制約条件であり、右辺第 1 項は家計の労働収入、第 2 項は地代および交通部門収入、左辺第 1 項は買物交通費を含んだ財消費支出、第 2 項は住宅支出である。すなわち、地代・交通関連収入は都市圏内全家計に均等分配されると仮定している。一方、(3)式は、時間制約条件であり、左辺第 1 項の  $\bar{t}$  は総利用可能時間、右辺第 1 項の  $l^{ijk}$  は労働時間、第 2 項は財  $x^{ijk}$  の単位当たり買物時間、第 3 項は通勤時間である。また、 $t_s^{ij}$  は買物に要するゾーン  $i-j$  間交通時間、 $t_c^{ik}$  は通勤にかかるゾーン  $i-k$  間交通時間である。さらに、 $w^k$  はゾーン  $k$  の労働者賃金、 $\Omega$  は都市圏家計に均等分配される土地資産・交通部門の余剰、 $p^j$  はゾーン  $j$  における財の f.o.b. 価格、 $\rho^j$  は買物先ゾーン  $j$  における駐車料金、 $\rho$  は単位距離当たり交通費用、 $d^{i(k)}$  はゾーン  $i-j(k)$  間距離、 $p_h^i$  はゾーン  $i$  の地代、 $N^{ijk}$  は居住地  $i$ 、買物先  $j$ 、通勤先  $k$  の世帯数、 $\Phi^i$  はゾーン  $i$  の容積率、 $\bar{H}^i$  はゾーン  $i$  の利用可能面積である。

以上の、所得制約および時間制約条件の下、(1)式を最大化することにより、各財の需要関数が得られる。

$$x^{ijk} = a_x(w^k \bar{t} + \Omega - T^{ik}) / p^{ijk}, \forall i, j, k \quad (4)$$

$$h^{ik} = a_h(w^k \bar{t} + \Omega - T^{ik}) / p_h^i, \forall i, k \quad (5)$$

$$\text{where. } p^{ijk} = p^j + \rho^j + 2(\rho d^{ij} + w^k t_s^{ij})$$

$$T^{ik} = 2(\rho d^{ik} + w^k t_c^{ik})$$

したがって、間接効用関数は(6)式となり、鉄道整備による交通費を含む財価格の低下は、家計の効用に対してプラス要因となり、一方で、鉄道沿線では、利便性増加により土地需要が高まるため、地代が高騰するというマイナス要因も合わせ持つ。

$$V^{ijk} = \ln(w^k \bar{t} + \Omega - T^{ik}) - a_x \ln p^{ijk} - a_h \ln p_h^i, \forall i, j, k \quad (6)$$

さらに、間接効用関数にガンベル分布に従う確率項  $\varepsilon^{ijk}$  を仮定すると、家計が居住地  $i$ 、買物先  $j$ 、通勤先  $k$  を選択する確率  $\text{Pr}[i, j, k]$  は、(7)式に示されるロジットモデルとして得ることができる。このことにより、選択行動の決定において価格以外の要因も確率的に考慮されることになる。

$$\text{Pr}[i, j, k] = \frac{\exp(V^{ijk})}{\sum_{i', j', k'} \exp(V^{i' j' k'})}, \forall i, j, k \quad (7)$$

都市圏総世帯数は  $N$  であることから、居住地  $i$ 、買物先  $j$ 、通勤先  $k$  を選択する世帯数  $N^{ijk}$  は(8)式となり、ゾーン  $i$  に居住する世帯数  $N^i$  は(9)式となる。

$$N^{ijk} = \text{Pr}[i, j, k] \cdot N, \forall i, j, k \quad (8)$$

$$N^i = \sum_{j, k} \text{Pr}[i, j, k] \cdot N, \forall i \quad (9)$$

以下では他地域からの都市圏地域への人口流入について考える。まず、都市圏全体の効用を、ログサム合成変数により導く。

$$V = \ln \sum_{i, j, k} V^{ijk} \quad (10)$$

都市圏以外の他地域の所得水準、物価水準、地代水準は統計資料より把握できることから、間接効用関数を利用することで、他地域の効用水準を捉えることができる。そこで得られる効用水準と、鉄道整備により上昇する都市圏の効用水準である(10)式との相対的關係により、他地域から都市圏地域への人口の流入量を得ることができる。

### 2.3 企業部門

企業の生産関数は、生産要素が土地・労働・アクセシビリティの Cobb-Douglas 型とする。また、本研究では、ゾーンに固有のアクセシビリティは生産に正の外部性を与え、生産を増大させる効果を考えるものとした。

$$y^i = (L^i)^\alpha (T^i)^\beta (ACC^i)^\gamma, \forall i \quad (11)$$

ここで、労働と土地については、 $\alpha + \beta = 1$  の一次同次の関係を仮定し、 $\gamma > 0$  とする。 $y^i$  はゾーン  $i$  における財の生産量、 $L^i$  はゾーン  $i$  における企業の労働需要量、 $T^i$  は

ゾーン  $i$  における企業の土地需要面積、 $ACC^i$  はゾーン  $i$  のアクセシビリティである。本研究では、ゾーン  $i$  のアクセシビリティ指標として(12)式を定義する。これは、相手先の従業者数  $L^j$  を地域の豊かさや多様性を意味する指標と解釈し、その魅力へ近づくための時間  $t^{ij}$  で除す(割引く)ことで、ゾーン  $i$  のアクセシビリティとしたことに起因している。

$$ACC^i = \sum_j L^j / t^{ij}, \forall i \quad (12)$$

生産関数による技術制約条件の下、利潤最大化問題を解くと以下の労働・土地の要素需要関数が導出される。ここでゾーン  $i$  の従業人口とは、OD 表での通勤集中交通量と同義となる。

$$L^i = \alpha p^i y^i / w^i, \forall i \quad (13)$$

$$T^i = \beta p^i y^i / p_h^i, \forall i \quad (14)$$

さらに、各要素需要より財の単位費用関数が求められる。

$$p^i = (w^i / \alpha)^\alpha (p_h^i / \beta)^\beta (ACC^i)^{-\gamma}, \forall i \quad (15)$$

この関係式は、鉄道整備によるアクセシビリティが向上し、企業の生産効率が上昇する正の影響と、鉄道沿線では人口増加・企業立地の増加により地代が高騰し、負担が高まる負の影響を同時に考慮している。

### 2.4 市場均衡

労働市場に関するゾーン  $k$  の需給均衡式は(16)式となり、これより賃金率  $w^k$  が得られる。

$$L^k = \sum_{i, j} N^{ijk}, \forall k \quad (16)$$

ゾーン  $j$  における財市場の需給均衡式は(17)式となり、ゾーン  $j$  における企業は、各ゾーンに居住する家計がゾーン  $j$  で財を需要する量に見合うように生産活動を行う。

$$y^j = N \sum_{i, k} x^{ijk} \text{Pr}[i, j, k], \forall j \quad (17)$$

ゾーン  $i$  の土地市場の需給均衡式は(18)式となり、ゾーン別の地代水準  $p_h^i$  が求まる。

$$\Phi^i \bar{H}^i = T^i + \sum_k N^{ik} h^{ik}, \forall i \quad (18)$$

以上の一般均衡モデルは内生変数と方程式数が一致し、ワルラス法則が成立する。数値計算は、都市圏全体の労働市場の超過需要に応じて賃金率を調整する価格調整アルゴリズムを適用する。ここでは、ゾーン番号 1 の地代水準をニュメラルとして基準価格化し、その需給均衡式を除いて数値計算を行う。数値計算の結果、ゾーン番号 1 の需要と供給の数値は事後的に等しくなり、モデルとその数値計算方法に誤りはないことが確認されたと言えよう。

### 2.5 分析ケースと係数設定

上述した構築したモデルを、具体的な鉄道整備プロジェクトの効果計測に適用する。ここでは、ある地方都市の都市鉄道整備を事例に取り上げる。これは、地方都市における鉄道整備はその地域にとって影響が大きいプロジェクトであり、間接効果が大きいと考えられるためである。対象となる鉄道は 1987 年に既に供用されており、事後分析の位置付けとなる。実際に、鉄道整備による都市構造の影響や、

経済活動への影響が発現しており、実績値と比較することが可能な点からも有効であるものと考えられる。



図1 分析対象となる鉄道整備沿線地域

シミュレーションの分析年次は対象地域において交通データが十分に整備されている1997年とする。1997年時点において、分析対象となる鉄道は既に整備されており、本分析は事後評価の扱いとなる。With Caseは1997年において鉄道が整備されたケース、Without Caseは1997年時点で仮に鉄道が整備されず、併せて駅へのアクセス道路および鉄道駅周辺の用途指定変更がないケースである。両ケースの比較により整備効果を算定する。

表1 With, Withoutシミュレーションの条件設定

	With Case	Without Case
分析年次	1997年	
整備対象 鉄道	鉄道あり	鉄道なし
道路網	1997年 当時の状況	97年道路網から、鉄道駅結節道路を削除する。
土地利用	当時の状況	97年次の鉄道駅周辺容積率を整備前の容積率とする。

外生変数は、ゾーン間所要時間 $t_{ij}$ およびゾーン容積率 $\rho_i$ である。ゾーン間所要時間は、他の交通モデルから求めており、全交通モードによる平均値を適用している。また、容積率およびその他のパラメータは既存の統計書より得た。特に、生産関数のパラメータについては、市町村単位で推定を行っている。

### 3. 数値計算による鉄道整備の効果計測

以下では、シミュレーションにより得られた各指標をWith-Without比較することにより、整備効果を把握する。

#### 3.1 夜間人口の変化

鉄道整備により、鉄道沿線での夜間人口が増加すると同時に、他の鉄道沿線においても夜間人口が増加する。これは、鉄道整備による他線への乗り継ぎ利便性が向上し、鉄道網全体としての魅力が向上するネットワーク効果と考えられる。都市圏の夜間人口は約38,000人(4.1%)の増加と推計される。鉄道沿線軸に人口が集中し、効率的な市街地が形成されたことが伺える。

#### 3.2 従業人口の変化

鉄道整備により、鉄道沿線の都心、北部終点駅および南部終点駅地域で従業人口が増加しており、鉄道軸に沿った効率的な業務地区が形成される。また、従来からの業務地区である東部地区においても、都市圏全体の従業人口増加による集積の経済効果が発現し、業務人口が増加する。鉄道整備により都市圏の従業人口は約32,000人(5.9%)増加と推計される。

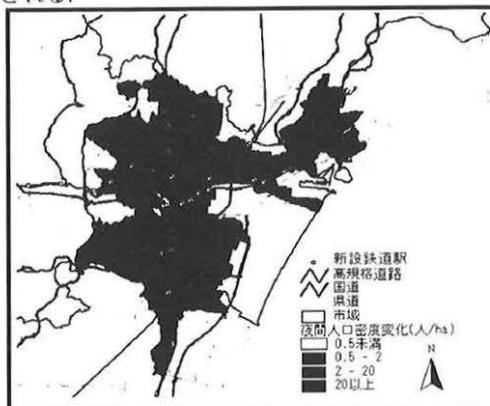


図2 夜間人口の変化 (With-Without比較)

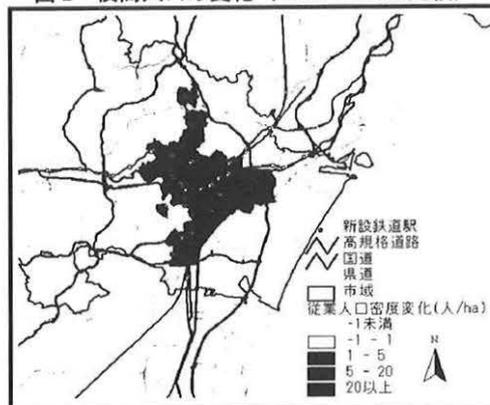


図3 従業人口の変化 (With-Without比較)

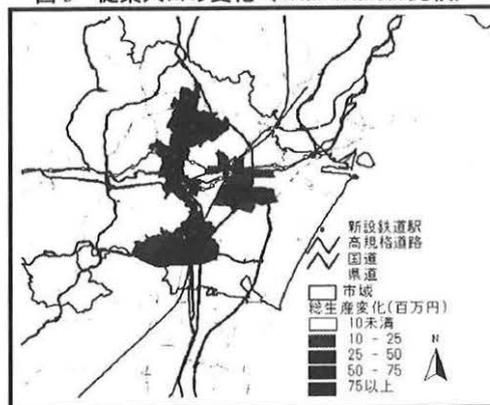


図4 総生産の変化 (With-Without比較)

#### 3.3 総生産の変化

交通条件が改善された鉄道沿線においては、従業人口が増加し、集積の経済が発現することにより、総生産が増加する。総生産の増加により、市民所得が約2,700億円(4.2%)

上昇するものと試算された。

### 3.4 地代の変化

利便性が増加する鉄道沿線では、家計の土地需要と企業の土地需要が高まり、地代水準が上昇する。結果、地代は都市圏で約 3,600 億円(0.7%)上昇すると推計される。

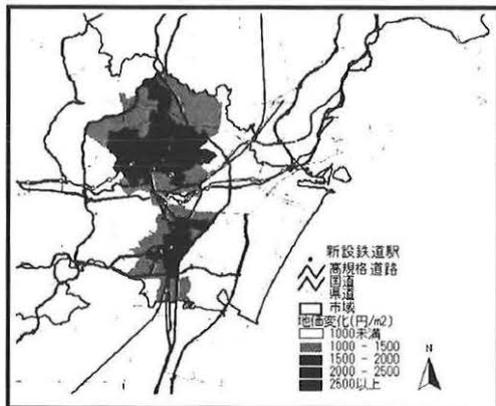


図5 地代の変化 (With-Without 比較)

### 3.5 地方財政への寄与

鉄道整備により、市民所得を税源とする市民税は、市民所得の増分に税率をかけることにより 36.0 億円増加し、資産価値を税源とする固定資産税は、資産価値の増分に税率を乗ずることにより 35.5 億円の増加と試算された。

### 3.6 その他の指標

都市構造の変化を意味する夜間人口および従業人口の分布の変化を考慮して、交通モデルにより鉄道整備の時間短縮便益、環境改善便益、交通事故削減便益、走行台キロの減少、費用便益比の指標が算定される。まず、鉄道整備により道路混雑が緩和され、自動車による移動時間が短縮される。鉄道・自動車合わせた時間短縮は都市圏全体で年間約 662 万時間(1日あたり約 1.8 万時間)と試算され、金額換算すると年間では約 249 億円の効果となり、その効果は鉄道軸沿線で大きく発現する。また、環境負荷の軽減効果については、鉄道整備により自動車交通量が減少し、窒素酸化物( $\text{NO}_x$ )および二酸化炭素( $\text{CO}_2$ )の排出量が減少し、また騒音レベルが減少する。都市圏全体の環境改善便益は、窒素酸化物( $\text{NO}_x$ )削減が年間 1 億 8,300 万円、二酸化炭素( $\text{CO}_2$ )削減が年間 6,500 万円、自動車騒音削減が年間 2 億 8 千万円の総額年間 5 億 3 千万円と試算される。

また、本研究では、「鉄道プロジェクトの費用対効果分析マニュアル」に従い、時間短縮効果、経費節減効果、環境改善便益、事故削減便益、供給者便益を合計し、費用対効果を算定した。その結果、費用便益比は 2.35 であり、鉄道整備による効果は、費用を大きく上回り、当該プロジェクトは投資するに値するものであったことが分かる。

## 4. CUE モデルの実務への適用上の課題

CUE モデルは、社会資本整備による帰着ベースの空間評価が可能で、他の分析にはない特徴を持ち、今後の公

共事業に対する適用の拡大が望ましいものと考えられる。このことについては、Venables (1999) は、公共プロジェクトの間接効果(累積効果や集積経済)が大きい場合は、これまでの伝統的な費用便益分析では不十分であり、一般均衡モデル構築の必要性を指摘している。

以下では、今回の事例研究を通して得られる CUE モデルの実務上適用の課題を整理する。

### (1) モデル定式化における恣意性の排除

CUE モデルおよび CGE(Computable General Equilibrium)モデルは帰着ベースの分析であることから、長期的外部効果の範囲が不明確であり、モデル作成者による恣意性と計測精度に対する信頼性の問題が指摘される。今後、実務におけるモデリングでは関数において一定の標準化・共通化による恣意性の排除が必要である。

### (2) ゾーン単位の統計データとキャリブレーション法

1国からなる CGE モデルの場合には、産業連関表からキャリブレーションすることが可能であるものの、ゾーン単位からなる CUE モデルは、各ゾーンの総生産データは存在しないため、各種パラメータの選定が恣意的になりがちである。特に、本分析で捉える長期におよぶ外部効果は、生産関数のアクセシビリティパラメータ $\gamma$ に大きく依存し、この係数が重要であることは自明である。今後は、この係数を含めた係数設定の妥当性について検討する必要がある。

## 5. おわりに

社会資本整備に対する財政的制約が厳しさを増す中、公共事業の客観的評価はますます重要になってきている。CUE モデルは、社会資本整備の帰着ベースの効果を計測する手法として有効であるものの、取り組み事例は未だ少ない。今後は、本稿で示した先進事例が広く実務で適用されるよう技術的な課題を改良するとともに、結果を広く公表し、アカウンタビリティを確保することが重要であろう。

### 【謝辞】

本稿を草するにあたり、本稿において取り扱った事例を公表することを快諾して頂いた関係各位に深甚の謝意を表す次第である。なお、本稿における全ての誤りは著者に帰することは言うまでもない。

### 【参考文献】

- 1) 運輸省鉄道局監修: 鉄道プロジェクトの費用対効果分析マニュアル'99, 運輸政策研究機構, 1999.
- 2) 社会資本整備の費用効果分析に係る経済学の問題研究会編: 費用便益分析に係る経済学的基本問題, 国土交通省国土政策研究所, 1999.
- 3) Venables, A.J.: The Socio-economic Impact of Projects Financed by the Cohesion Fund, A Modeling Approach, Vol.2, European Commission, 1999.