

ミクロ行動理論に基づく都市圏大規模計量モデルの開発とマニラ首都圏への適用

Urban Land Location and Transportation Modeling using the Bi-stages Computable General Equilibrium Framework for Analysis in Metro Policy in Developing Countries

金 広文**・山野 浩***・土井健司****

By Kwangmun KIM**・Hiroshi YAMANO***・Kenji DOI****

1. はじめに

大都市圏の空間構造は一定不変でなく、産業構造や社会状況に依存して絶えずダイナミックな変化を繰り返している。特に、都市部での雇用、住宅問題や交通混雑や大気汚染といった問題等が深刻となる。このような問題に対して、例えば、開発途上国では ODA などによる交通基盤整備を含めたいくつかの都市政策が検討されるが、その政策の有効性を評価するには、都市圏における交通と立地、そして圏域全体の社会経済的影響との相互関係を考慮して定量分析を行う必要がある。その際、分析に用いる枠組みは以下の要件を満たすことが求められる。

- ①圏域全体の影響を捉えること
 - ②圏域内での各種影響の空間分布を把握すること
 - ③定量的に様々な表現ができること
 - ④経済理論的によどのような背景から導かれているの明確にすること（行動論的・システム的一貫性）
- これらを全て同時に満たす政策シミュレーションの開発は非常に難しいものの、幾つかの試みは存在する。

1960年代以降に出現した土地利用・交通モデル¹⁾は都市の活動立地に注目して、都市現象の空間分布をシミュレーションするモデルであるが、ANAS²⁾以降、現在、その発展の一つの方向として、上田(1992)³⁾、小池(1997)⁴⁾、武藤(1998)⁵⁾あり、そこでは、ワルラス的な多市場同時均衡論及びミクロ行動理論から応用都市経済モデル(Computable Urban Economic Model: CUE Model)⁶⁾を導出してモデル自体の理論的根拠を明確にする試みがなされてきた。これにより、都市内での人口、雇用、交通に関する空間分布について理論的根拠が示されてきた。

しかしながら既往研究⁴⁾⁵⁾が述べているように、業種別、地域別の生産要素価格、財価格が外生的に一定値が固定されるため、マクロ計量モデル等から、

*キーワード：地域政策、計画手法論

**正員、博士(工)、日本学術振興会研究員(東京工業大学：〒152-8552 目黒区大岡山 2-12-1、E-Mail: kim@inf.meititech.ac.jp)

***正員、工修、(株)奥村組 東京支社

****正員、工博、東京工業大学大学院 助教授

別途推計しない限り、大都市圏全体の地域経済や国土構造に影響を及ぼすような大規模な交通整備や都市政策の効果分析に十分対応しきれない。

一方、国民経済レベルでの政策分析を目的として数多くの CGE モデル⁷⁾⁸⁾が開発されてきたが、これらは多部門経済モデルとして比較的大きな経済規模を持った地域や国に適用され、政策効果が価格調整メカニズムで得られる業種別の生産要素価格、財価格への波及メカニズムを通じて最終的に各経済主体へ帰着するかを把握できるため、対象地域全体の経済構造や国土構造への影響を捕らえることができる。しかしながら、産業連関表の整備状況などデータ制約等により、通常の CGE モデルのみでは都市圏内での交通需要、立地等の、空間分布を記述することは難しい。

そこで、本研究は大都市圏での大規模プロジェクトが業種別、地域別、主体に及ぶ影響とその空間分布を定量的に評価するプロトタイプの都市圏大規模計量モデルをミクロ行動理論に基づき開発し、その実用性その有用性を検討することを目的とする。

具体的には、空間を持たない 1 国多部門の CGE モデルと CUE モデルを結合した 2 段階モデルを構築し、マニラ首都圏での大都市交通政策の効果分析に適用する。マニラ首都圏を対象としたのは、開発途上国の大都市圏で最も都市膨張及び交通混雑が深刻な都市の一つであり、現在、LRT2 号線、3 号線建設など都市圏内で大規模な都市交通プロジェクトが進められているため、それが都市圏全体に及ぶ影響とその空間分布を定量的に分析することにより、ダイナミックに地域経済が変化する大都市圏での政策分析の良い事例となりえるからである。

2. 都市圏大規模計量モデルの構成

本研究で構築する計量モデルは 2 つのサブモデルにより構成される。上位モデルとして CGE モデルである都市圏域活動モデル、下位モデルに CUE モデルの都市圏内活動立地モデルをサブモデルとする。全体構成を図-1 に示す。また、各サブモデルの特徴及び基本的仮定を以下に列挙する。

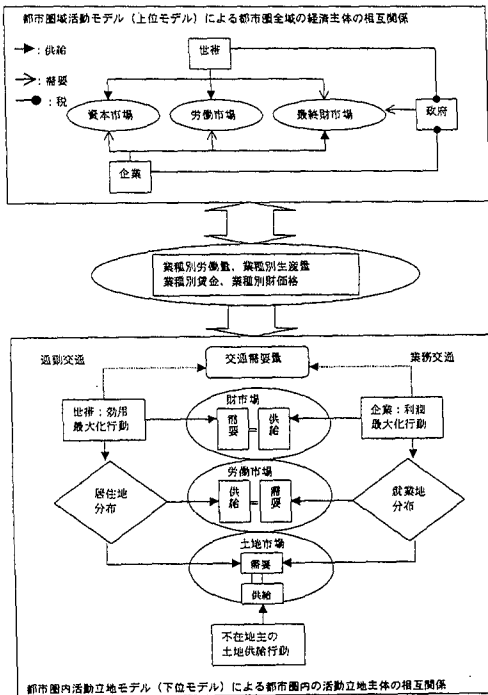


図-1.本研究での各活動立地主体の相互関係

<上位モデルの特徴及び仮定>

- ・対象となる都市圏の総人口は固定されている。すなわち Closed City を仮定する。
- ・3つの主体（世帯、企業、政府）、3つの市場（最終財、労働、資本）を想定している。
- ・対象となる都市圏に居住する世帯は、同量の資本を所有しており、その総量は固定されている。
- ・対象とする都市圏の外（国内、国外とも）との間での財の流入は自由である。但し、都市圏外との間で経常収支は、均衡しているものとする。

<下位モデルの特徴及び仮定>

- ・3つの主体（世帯、企業、不在者地主）、3つの市場（合成財、労働、土地）を想定しており、都市圏内の人口、雇用、交通量等の都市活動の空間分布を表現するモデルである。
- ・上位モデルと同様、Closed City を仮定する。
- ・各ゾーンの土地利用は居住および業務のみ存在するものとし、これらが混在しているものとする。
- ・企業は企業間の相互依存関係や家計の立地選択行動を考慮した上で、利潤最大となる業務地選択行動

をとり、その結果業務地需要及び労働需要の空間分布、そして業務交通の発生、分布が決定される。

- ・家計の立地行動は居住地及び就業地選択、そして買物地選択であるが、効用最大化行動により住宅地需要及び労働供給の空間分布、そして通勤交通の発生、分布が決定される。
- ・市場は居住地・業務地の土地市場に加え、労働市場、財市場の3つあり、各ゾーンレベルで需給調整がなされる。その結果、居住地・就業地分布、通勤交通、業務交通の空間分布が決定される。
- ・上位モデルより入力される業種別価格、数量に関する情報を元に各市場の調整を行う。

3. 各サブモデルの定式化

3.1 都市圏域活動モデル（上位モデル）

3.1.1 各経済主体の行動

(1) 世帯の行動

世帯 k は、企業に生産要素（労働・資本）を提供し所得を受け取る。そして、その所得をもとに企業が生産した財の消費を行う。この行動モデルは、所得制約の下での、効用最大化行動として定式化できる。

$$v^k = \max U^k(y_1^k, \dots, y_n^k) \tag{1}$$

$$s.t. \quad W^k = \omega^k + \gamma \bar{K} - \sum_i p_i y_i^k + \bar{g}^k \tag{2}$$

$$U^k = \prod_i (y_i^k)^{\beta(i)} \tag{3}$$

ここで、 k : 家計を表すラベル、 v^k : 間接効用、 U^k : 直接効用、 y_i^k : i 財消費量、 p_i : 財価格、 \bar{K} : 資本、 \bar{g} : 一括税

ラグランジュ未定乗数法を用いて解くと、以下のよう各財の需要関数が得られる。

$$y_i^k = \frac{\beta(i)(W^k - \bar{g})}{p_i} \tag{4}$$

世帯の間接効用関数は以下のように求められる。

$$v^k = \prod_i \left(\frac{\beta(i)(W^k - \bar{g})}{p_i} \right)^{\beta(i)} \tag{5}$$

(2) 企業の行動

企業 k は、生産要素（労働、資本）及び、中間財を投入して財の生産を行う。この行動モデルは、生産技術制約の下での、利潤最大化行動として定式化できる。また、生産関数には、コブ・ダグラス型の生産関数を、そして規模に関して収穫一定と仮定している。中間財の価格に関しては、最終財価格と等しいものとする。

$$\max \{ \Pi^k \} \quad (6)$$

$$\text{s.t.} \quad \Pi^k = p^k X^k - \sum_i p_i \cdot X^{ki} + \omega^k \cdot L^k - \gamma \cdot K^k - g_k \quad (7)$$

$$X^k = \prod_i (X^{ki})^{\alpha(ki)} \cdot (L^k)^{\alpha(kL)} \cdot (K^k)^{\alpha(kK)} \quad (8)$$

ここで、 k : 業種のラベル、 ki : 業種間取引のラベル、 Π^k : 利潤、 X_k : 生産量、 X^{ki} : 業種間の中間投入量、 L^k : 労働投入量、 K^k : 資本投入量、 p^k : 生産財価格、 ω^k : 賃金率、 γ : 資本レント、 g^k : 企業税、 $\alpha(i)$: パラメータ ($\sum_i \alpha(i) = 1$)

そして式 (6)、(7)、(8) 式から各要素需要関数が得られる。

$$\text{中間財需要} : X^{ki} = \frac{\alpha(ki) \cdot p^k \cdot X^k}{p_i} \quad (9)$$

$$\text{労働需要} : L^k = \frac{\alpha(kL) \cdot p^k \cdot X^k}{\omega^k} \quad (10)$$

$$\text{資本需要} : K^k = \frac{\alpha(kK) \cdot p^k \cdot X^k}{\gamma} \quad (11)$$

(3) 政府の行動

政府は、世帯及び企業から税金を徴収し、最終財市場を介して、世帯及び企業に再分配を行う。

$$\bar{g}N + \sum_k g^k = W^g \quad (12)$$

ここで N : 総世帯数、 W^g : 政府消費支出

3.1.2 市場均衡条件

以下に、各市場均衡条件を列挙する。

最終財市場:

$$X^k = \sum_i \alpha(ki) \cdot \frac{p_i}{p_i} \cdot X^k + \sum_i \frac{\beta(i)}{p_i} \cdot (W^g - \bar{g}) + \frac{W^g}{p^k} + XP - IP \quad (13)$$

最終財市場の価格決定式:

$$p^k = \frac{1}{\prod_i \left(\frac{\alpha(ki)}{p_i} \right)^{\alpha(ki)} \left(\frac{\alpha(kL)}{\omega^k} \right)^{\alpha(kL)} \left(\frac{\alpha(kK)}{\gamma} \right)^{\alpha(kK)}} \quad (14)$$

$$\text{労働市場:} \quad \sum_k L^k = \bar{L}S \quad (15)$$

$$\text{資本市場:} \quad \sum_k K^k = \sum_k \bar{K}L^k = \bar{K}K \quad (16)$$

ただし、 XP : 輸出量、 IP : 輸入

ここで、方程式が $2 \times$ 業種数 $+ 2$ 本であり、未知変数は $2 \times$ 業種数 $+ 1$ 個である。ここで γ をニューメレル価格にすることでワルラス法則が成立する。

3.2 都市圏内活動立地モデル (下位モデル)

3.2.1 各主体の立地行動

(1) 世帯の立地行動

すべての世帯は、都市圏内の任意のゾーンに居住あるいは勤務し、企業に生産要素(労働)を提供して所得を受け取ると仮定する。そしてその所得をもとに、企業が生産した財及び余暇の消費を行う。この行動モデルは、賃金所得及び時間制約の下での、効用最大化行動として以下のように定式化できる。

$$V_{ji} = \max \{ U_{ji}(Y_{ji}, h_{ji}, S_{ji}) \} \quad (17)$$

$$\text{s.t.} \quad \omega_j \cdot L_H = P_H \cdot Y_{ji} + r_i \cdot h_{ji} + \bar{t} \cdot t_{ji} \quad (18)$$

$$\Omega = L_H + t_{ji} + S_{ji} \quad (19)$$

ここで、 ji : j ゾーンに従業し、 i ゾーンに居住する世帯のラベル、 V_{ji} : 間接効用、 U_{ji} : 直接効用、 Y_{ji} : 合成財消費量、 h_{ji} : 居住地消費量、 S_{ji} : 余暇消費量、 P_H : 合成財価格、 t_{ji} : 交通所要時間、 ω_j : 賃金率、 r_i : 住宅地レント、 \bar{t} : 単位交通費用、 Ω : 総利用可能時間

そして効用関数を CES 型の効用関数と仮定し、ラグランジュ未定乗数法を用いて解くと、以下のように各財の需要関数及び間接効用関数が得られる。

$$\text{合成財需要:} \quad Y_{ji} = \frac{\beta^y}{P_H^\sigma} \Gamma \quad (20)$$

$$\Gamma = \frac{\{\omega_j \cdot (\Omega - t_{ji}) - \bar{t} \cdot t_{ji}\}}{P_H^{1-\sigma} \cdot \beta^y + r_i^{1-\sigma} \cdot \beta^h + \omega_j^{1-\sigma} \cdot \beta^s} \quad (21)$$

$$\text{居住地需要:} \quad h_{ji} = \frac{\beta^h}{r_i^\sigma} \Gamma \quad (22)$$

$$\text{余暇需要:} \quad S_{ji} = \frac{\beta^s}{\omega_j^\sigma} \Gamma \quad (23)$$

$$V_{ji} = \frac{\{\omega_j \cdot (\Omega - t_{ji}) - \bar{t} \cdot t_{ji}\}^{\frac{\sigma-1}{\sigma}}}{(P_H^{1-\sigma} \cdot \beta^y + r_i^{1-\sigma} \cdot \beta^h + \omega_j^{1-\sigma} \cdot \beta^s)^{\frac{-1}{\sigma}}} \quad (24)$$

世帯の効用が誤差項を持ち、これが独立かつ同一の Gumbel に従うと仮定すると以下のような Logit モデルで世帯の居住地・就業地の選択行動が表現される。

$$P_{ji} = \frac{\exp(\theta V_{ji})}{\sum_j \exp(\theta V_{ji})}, \quad \theta: \text{パラメータ}, P_{ji}: \text{選択確率} \quad (25)$$

(2) 企業の立地行動

j ゾーンに立地する k 業種の企業は、生産要素及び、土地、業務トリップを投入して財の生産を行う。この行動モデルは、生産技術制約の下での、利潤最大化行動として定式化できる。但し、業務トリップを投入する分、労働投入量が減少する。

$$\max \{ \Pi_j^k \} \quad (26)$$

$$\text{s.t.} \quad \Pi_j^k = p^k \cdot X_j^k - \omega_j^k \cdot L_j^k - r_j \cdot h_j^k - \bar{t} \cdot T_j^k \quad (27)$$

$$X_j^k = PE_j^k \cdot (L_j^k - T_j^k)^{\alpha(1)} \cdot (h_j^k)^{\alpha(2)} \cdot (T_j^k)^{\alpha(3)} \quad (28)$$

ここで、 $(j)^k$: j ゾーン及び k 業種のラベル、 Π_j^k : 利潤、 p^k : 財価格
 X_j^k : 財生産量、 L_j^k : 労働投入量(労働時間)、 h_j^k : 土地投入量、
 T_j^k : 業務投入量(時間): $T_j^k = \sum_i t_{ji} \cdot TT_{ji}^k$ 、 TT_{ji}^k : 業務発生交通量
(トリップ数)、 \bar{t} : 単位交通費用、 ω_j^k : 賃金率、 PE_j^k : 生産技術、
 $\alpha(1), \alpha(2), \alpha(3)$: 分配パラメータ ($\sum_i \alpha(i) = 1$)

式(26)、(27)、(28)の最適化問題から各要素要関数及び間接利潤関数が得られる。

$$\text{労働需要} : L_j^k = \frac{\alpha(1) \cdot p^k \cdot X_j^k}{\omega_j^k} + \frac{\alpha(3) \cdot p^k \cdot X_j^k}{\omega_j^k + \bar{t}} \quad (29)$$

$$\text{土地需要} : h_j^k = \frac{\alpha(2) \cdot p^k \cdot X_j^k}{r_j} \quad (30)$$

$$\text{業務交通需要} : T_j^k = \frac{\alpha(3) \cdot p^k \cdot X_j^k}{\omega_j^k + \bar{t}} \quad (31)$$

$$\Pi_j^k = (1-s) \cdot \left\{ p^k \cdot PE_j^k \cdot \left(\frac{\alpha(1)}{\omega_j^k} \right)^{\alpha(1)} \cdot \left(\frac{\alpha(2)}{r_j} \right)^{\alpha(2)} \cdot \left(\frac{\alpha(3)}{\omega_j^k + \bar{t}} \right)^{\alpha(3)} \right\}^{1-s}$$

$$s = \alpha(1) + \alpha(2) + \alpha(3) \quad (32)$$

ここで、企業の利潤が誤差項を持ち、これが独立かつ同一のGumbelに従うと仮定すると、以下のようにLogitモデルで企業の立地選択行動が表現される。

$$p_j^k = \frac{\exp(\theta_k \Pi_j^k)}{\sum_j \exp(\theta_k \Pi_j^k)} \quad , \quad p_j^k: \text{立地選択確率}, \theta_k: \text{パラメータ} \quad (33)$$

(3) 不在地主の行動

不在地主は、各ゾーンに一人存在し、土地を供給することによって得られる地代収入を最大にするように行動する。

$$V_i = \max \left\{ (r_{Hi} \cdot h_{Hi})^{Y_i(1)} (r_{Ki} \cdot h_{Ki})^{Y_i(2)} \right\} \quad (34)$$

$$\text{s.t.} \quad h_{Hi} + h_{Ki} \leq \bar{H}_i \quad (35)$$

ここで h_{Hi} : 住宅地供給面積, h_{Ki} : 従業地供給面積

$$Y_i(j): \text{パラメータ} \left(\sum_j Y_i(j) = 1 \right)$$

この最適化問題を解くことによって、以下のように各用途の土地供給面積を得ることができる。

3.2.3 市場均衡条件

以上より、このシステムの均衡条件を以下のように定義される。

$$\text{合成財市場} \quad \sum_i \sum_j L_{ji} Y_{ji} = \sum_j \sum_k X_j^k \quad (36)$$

$$\text{労働市場} \quad \sum_k \bar{L}_k = \sum_i \sum_j L_{ji} \quad (37)$$

$$\text{土地市場} \quad \sum_j L_{ji} h_{ji} + \sum_k h_i^k \leq \bar{H}_i \quad (38)$$

4. マニラ首都圏への適用

以上のモデルをもとにマニラ首都圏での都市交通プロジェクト(LRT2号線、3号線)評価に適用する。

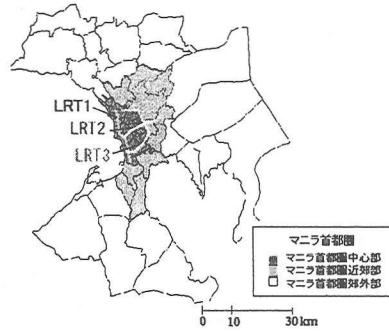


図-2. マニラ首都圏における都市鉄道(LRT)計画図

なお、その分析結果については講演時に報告する予定である。

参考文献

- 1) 青山吉隆(1984)「土地利用モデルの歴史と概念」: 土木学会論文集 No.347/IV-1, pp19-28
- 2) ANAS, A.(1982): Residential Location Markets and Urban Transportation, Academic Press
- 3) 上田孝行・堤盛人(1999)「わが国における近年の土地利用モデルに関する統合フレームについて」, 土木学会論文集 No.625, pp.65-78,
- 4) 小池淳司他(1996)「ミクロ行動理論に基づく交通-立地モデルの開発」, 土木計画学・講演集 No.19(2)pp371-374
- 5) 武藤慎一他(1998)「都市環境政策評価のための交通・立地モデルの開発」, 土木計画学研究・講演集 No.21(2) pp455-458
- 6) 上田孝行: ネットワークを考慮した応用一般均衡分析について、交通ネットワーク研究会紀要, 2000.2.18 (非公開資料)
- 7) 土木計画学研究委員会、応用一般均衡モデルの公共投資評価への適用: 土木計画学ワンデーセミナーシリーズ 15、平成 10 年 6 月
- 8) 文世一(1995)「地域間交通システムの整備が産業立地と人口分布に及ぼす影響」: 土木計画学研究・講演集 No.18(2)1995 年 12 月
- 9) 山野浩(1999)「マニラ首都圏における都市活動連関の把握と成長管理方策の検討」: 平成 11 年度東京工業大学修士論文