

物流施設の立地を考慮した応用都市経済モデルによる新潟中央環状線の建設効果の推定

長岡技術科学大学大学院 環境社会基盤工学専攻 非会員 高倉 拓実
 長岡技術科学大学大学院 環境社会基盤工学専攻 正会員 佐野 可寸志
 長岡技術科学大学大学院 環境社会基盤工学専攻 正会員 鳩山 紀一郎
 長岡技術科学大学大学院 環境社会基盤工学専攻 正会員 高橋 貴生

1. はじめに

道路や橋など交通インフラを建設した際の効果を分析するために四段階推定法を用いた分析が行われることが多い。しかし、実際には交通だけではなく、利便性が向上した交通インフラの周辺には住宅や商業施設、物流施設が建てられることが多い。そのため、近年では交通と建物の立地を同時に予測するモデルを用いて建設効果を推定するという手法が用いられる場合がある。このひとつの手法として応用都市経済モデルがある。このモデルは土地利用モデルと交通モデルが統合されたものであり、交通に限らず都市に対する政策の分析が行えることが利点である。新潟市では平成 34 年までに新潟中央環状線が暫定 2 車線で供用を開始する事を目指し、その建設が進められている。この新潟中央環状線は角田浜から新潟東港を結び、新たな物流軸の構築による産業の活性化が期待されている。より効果的な活性化を目指すため、適切な工業用地の設定や全線 2 車線化などの効果を検討する必要がある。そこで従来の応用都市経済モデルを一部物流施設の立地を考慮可能になるようにし、中央線建設による効果と立地の変化から評価すると同時に、より効果的な新潟市活性化のための政策を検討することが可能なモデルを構築することを目的とする。

2. モデルの概要

図 1 に本研究で用いるモデルの概要図を示す。応用都市経済モデルは地主、企業、家計の三つの市場で成り立つ多市場均衡型モデルである。企業は利潤最大化行動を行い、地主から供給される土地から利用する場所を決め、それに伴い従業者分布や土地面積、業務トリップを決定させる。また、家計は効用最大化行動を行い、同じく土地を決定し、人口分布や土地面積、私事トリップを決定する。このうち従業者分布と人口分布を含む労働市場と業務、私事トリップのそれぞれが交通モデルの変数として与えられる。そのため、企業や家計のそれぞれの行動が土地利用と交通に影響を与え、交通が変化した場合は土地利用に影響を与えることが表現されている。本研究では企業を物流施設とその他の企業に分けることで物流施設の立地も考慮できるようにする。ただし、純粋な物流施設のみだと相対的な数が少なすぎてうまくモデル化できないと考えたため、本研究では平成 25 年度東京都市圏物資流動調査が

対象にしている業種をまとめて物流施設とすることとした。表 1 に示す東京都市圏物資流動調査の業種別発生物流量・発生貨物車台数、集中物流量・集中貨物車台数を見みると、発生集中貨物車台数共に製造業、運送業、倉庫業、卸売業で約 9 割を占めることがわかった。このことからこの 4 業種を本論文では物流施設とする。また、応用都市経済モデルの前提条件をここに示しておく。

A) 経済主体は同一の選好を持つ人口一人当たりで捉えた家計、 B) 対象地域は i 個のゾーンに分割されており同質である。 C) 構築モデルは閉鎖都市モデルであり、対象地域の総人口は外生的に与えられる。 D) 家計は効用最大化行動に従い、立地の変化による追加的な費用は一切考慮しない。

表 1 貨物車の発生集中台数の業種別累積割合

| | 製造業 | 運送業 | 倉庫業 | 卸売業 | サービス | その他 |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| 総発生貨物車台数 | 223829 | 144825 | 52744 | 138441 | 26801 | 17659 |
| 累積割合 | 0.37039 | 0.61005 | 0.69733 | 0.92643 | 0.97078 | 1 |
| 総集中貨物車台数 | 188,752 | 92,915 | 29,158 | 146,967 | 39,763 | 15,671 |
| 累積割合 | 0.36777 | 0.54882 | 0.60563 | 0.89199 | 0.96946 | 1 |

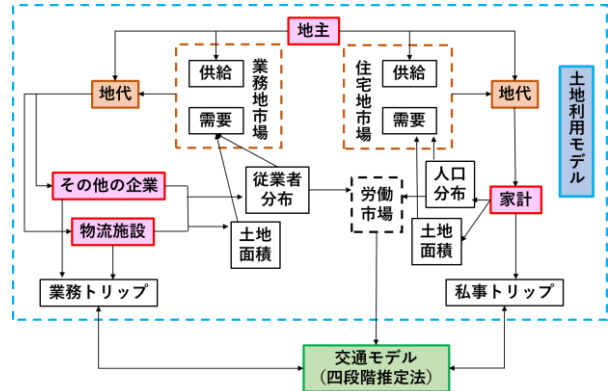


図 1 応用都市経済モデルの概要図

3. モデルの定式化

3.1 家計の行動モデル

土地利用モデルの一部である家計の効用最大化行動は以下の式 (1) のように定式化される。このモデルは代表的一人の家計を仮定し、総収入の予算制約下で、住宅土地面積、トリップ、合成財を消費し、効用 V_i を最大化するように行動するというをあらわしている。

$$V_i(q_i^h, r_i^h, l_i) = \max(\alpha_z \ln Z_i^h + \alpha_x \ln x_i^h + \alpha_l \ln l_i^h) \quad (1.a)$$

$$s.t. Z_i^h + q_i^h x_i^h + r_i^h l_i^h = w(\Omega - t_i) = I_i \quad (1.b)$$

z_i : ゾーン*i*の一人当たり合成財消費量
 x_i^h : ゾーン*i*の一人当たりトリップ数
 l_i : ゾーン*i*における一人当たり住宅土地面積
 q_i^h : ゾーン*i*におけるトリップ費用
 r_i^h : ゾーン*i*の住宅地地代
 t_i : ゾーン*i*におけるトリップ消費時間
 q_i : ゾーン*i*におけるトリップ費用
 w : 家計の貸金率 Ω : 利用可能時間
 $\alpha_z, \alpha_l, \alpha_q$: 支出配分パラメータ

添え字の*h*は住宅の変数という事をあらわしている。
 支出配分パラメータは家計調査 (H28) のデータから土地
 への支出と交通費の支出の割合 α_l, α_q を求め、1 からそれ
 らを引いた値を合成財のパラメータ α_z とした。また、式
 (1) を解くことにより各財の消費量が求められる。

$$Z_i^h = \alpha_z I_i \quad (2.a)$$

$$l_i^h = \frac{\alpha_l}{r_i^h} I_i \quad (2.b)$$

$$x_i^h = \frac{\alpha_x}{q_i^h} I_i \quad (2.c)$$

ただし、 $\alpha_z + \alpha_l + \alpha_q = 1$
 上記の (2) 式を (1) 式に代入する事で間接効用関数が
 以下のように求められる。

$$V_i = \ln I_i - \alpha_x \ln q_i^h - \alpha_l \ln r_i^h + \alpha_z \ln \alpha_z + \alpha_l \ln \alpha_l + \alpha_x \ln \alpha_x \quad (3)$$

また、立地選択確率は(3)式を用いて以下の式 (4) で与
 えられる。

$$P_i = \frac{\exp \theta (V_i + \tau_i)}{\sum_j \exp \theta (V_j + \tau_j)} \quad (4)$$

θ : パラメータ τ_i : 間接効用関数に含まれない要因

現在の立地選択確率は、現在の利用されている土地の合
 計で各ゾーンの利用されている住宅土地面積を割ること
 で計算でき、この値を用いて実際の選択確率と一致するよ
 うに τ_i を定める。

3.2 企業の利潤最大化行動モデル

i. その他の企業のモデル

物流施設、その他の企業はともに以下に定式化する利潤
 最大化行動を元に生産を行っているとする。企業は業務
 用用地面積と業務トリップを投入して、生産技術制約下の

元で生産を行うとする。生産関数をコブダグラス型とす
 ると、以下のような式となる。

$$\Pi_i(a_i^b, x_i^b) = \max(Z_i - r_i a_i - q_i x_i) \quad (5.a)$$

$$s.t. Z_i = \eta_k (a_i^b)^{\beta_a} (x_i^b)^{\beta_x} \quad (5.b)$$

a_i : 土地面積投入量, x_i : 業務トリップ投入量,
 Z_i : 合成財生産量 r_i : 地価 q_i : 業務トリップ費用
 η_i : 区ごとの生産効率パラメータ
 β_a, β_x : 分配パラメータ i : ゾーン番号

また、式 (5) をとく事により企業の需要関数と合成財
 の式が以下のように求められる。

$$a_i^b = \left\{ \frac{1}{\eta_k} \left(\frac{r_i}{\beta_a} \right)^{1-\beta_x} \left(\frac{\beta_x}{q_i} \right)^{-\beta_x} \right\}^{\frac{1}{\beta_a + \beta_x - 1}} \quad (6.a)$$

$$x_i^b = \left\{ \frac{1}{\eta_k} \left(\frac{q_i}{\beta_x} \right)^{1-\beta_a} \left(\frac{\beta_a}{r_i} \right)^{-\beta_a} \right\}^{\frac{1}{\beta_a + \beta_x - 1}} \quad (6.b)$$

$$Z_i = \left\{ \frac{1}{\eta_k} \left(\frac{r_i}{\beta_a} \right)^{\beta_a} \left(\frac{q_i}{\beta_x} \right)^{\beta_x} \right\}^{\frac{1}{\beta_a + \beta_x - 1}} \quad (6.c)$$

上記の式 (6) を式 (5.a) に代入することで企業の間
 接効用関数が求められる。

$$\Pi_i = (1 - \beta_a - \beta_x) \left\{ \frac{1}{\eta_k} \left(\frac{r_i}{\beta_a} \right)^{\beta_a} \left(\frac{q_i}{\beta_x} \right)^{\beta_x} \right\}^{\frac{1}{\beta_a + \beta_x - 1}} \quad (7)$$

Π_i を用いて企業の立地選択確率は以下の式で求められ
 る。補正項の τ_i は住宅の立地選択確率の式と同様の方法
 で設定する。

$$P_i = \frac{\exp \theta (\Pi_i + \tau_i)}{\sum_j \exp \theta (\Pi_j + \tau_j)} \quad (8)$$

ii. 物流施設のモデル

基本的にはその他の企業のモデルと同様に企業は業務
 用用地面積と業務トリップを投入して、生産技術制約下の
 元で生産を行うこととする。しかし、物流施設のモデルに
 は以下式 (9) のようにいくつかの政策変数を導入する。

$$\Pi_i(a_i^b, x_i^b) = \max(Z_i - r_i a_i - q_i x_i) + \sum_j \gamma_j y_j \quad (9.a)$$

$$s.t. Z_i = \eta_k (a_i^b)^{\beta_a} (x_i^b)^{\beta_x} \quad (9.b)$$

その他の企業のモデルと同様に式 (9) を解くと、以下のような間接効用関数が得られる。

$$\Pi_i = (1 - \beta_a - \beta_x) \left\{ \frac{1}{\eta_k} \left(\frac{r_i}{\beta_a} \right)^{\beta_a} \left(\frac{q_i}{\beta_x} \right)^{\beta_x} \right\}^{\frac{1}{\beta_a + \beta_x - 1}} + \Sigma y_j y_j \quad (10)$$

このほかにも地主の行動モデルや交通モデルも定式化されるが、今回は式の導出を省略する。

3. 3 使用データ

表2に今回使用したデータの一覧を示す。表2のうち本研究で重要になるデータは建物と土地の種別と面積が分かる固定資産課税台帳とPT調査のデータである。固定資産課税台帳データは建物のデータと用地のデータに分けられている。用地のデータは用途の種別が少なく、建物を建てるための用地はどのような用途であっても宅地として登録されている。そのため、その宅地に何が建てられているのかを把握し、宅地を用途別に分けるために建物データとのマッチングを行った。これを行う事により、建物の用途を土地に与えることで宅地の用途を決めることとした。建物データと用地のデータそれぞれに与えられている地番を一致させることによりマッチングを行った。データ集計の際には、利用するデータのうち最も大きな単位のゾーン分けがされているデータに合わせる必要がある。新潟市はPT調査（新潟市では都市交通特性調査）で71ゾーン分けられており、これが最大のゾーン分けであった。そのため、都市交通特性調査のゾーン区分に合わせて他の町丁目単位のデータを集計し、モデルに用いた。

4. 生産関数における生産効率パラメータ η_i の設定

式 (5) 企業の利潤最大化行動の式において、現在の値を均衡時の値だと仮定し、逆にパラメータ η_i , β_a , β_x を変数と考えて式を解く事で、以下のような式が得られる。

$$\beta_a = \frac{a^{b^*} r^*}{z^{b^*}} \quad (11.a)$$

$$\beta_x = \frac{x^{b^*} q^*}{z^{b^*}} \quad (11.b)$$

上記の式において新潟市全体の合成財生産量 Z を用いてパラメータ β_a , β_x を算出した。（添え字の*は現状の値を示す）生産量に関しては H28 年度の工業統計を用いた。データの制約上今回は製造業のみを取り扱い、製造業におけるパラメータ β_a , β_x を求めた。これらのパラメータを用いて式 (5.b) を変形した式 (10) を用いてから地域固有変数 η_i を算出する。

$$\eta_i = \frac{Z_i}{(a_i^{b^*})^{\beta_a} (x_i^{b^*})^{\beta_x}} \quad (12)$$

こちらでもデータの制約上、生産量が区の単位でしか分からなかったため、区別にパラメータを設定した。しかし、区別のパラメータではその値に生産量が大きく左右されてしまい、パラメータの値が大きい区に生産量が偏ってしまった。そこで、生産関数に用いる業務トリップ（貨物車生成台数）と製造業用地面積のうち製造業生産額と相関が高いほうを選択し、そのゾーン合計に対する割合を用いて生産量をゾーン毎に分ける事とした。各ゾーンの製造業の建物用地面積の割合が相関係数 0.900 と高かったため、そちらを採用し、合計製造業用地面積に対する各ゾーンの製造業用地面積の割合を区別の生産量に掛け合わせることでゾーン別の生産効率パラメータ η_i を設定した。表3に設定したパラメータを示す。

表2. 使用データ

| 出典 | 使用データ |
|----------|-------------------------------|
| 資産課税台帳 | 建物データ, 用地データ |
| 都市交通特性調査 | ゾーン別人口, ゾーン別平均所要時間, ゾーン別生成交通量 |
| 地価公示 | ゾーン別平均地代（個別のものをゾーン毎に集計） |
| 工業統計 | 製造業生産額 |

表3. 生産関数における設定した各パラメータ

| β_x | β_a | η |
|-----------|-----------|--------------|
| 0.014 | 0.019 | ゾーン毎の設定のため省略 |

5. 調整項のキャリブレーションによる設定

本モデルで用いる (4) や (8) 式の立地選択確率の調整項である τ_i , π_i は現在の立地選択確率と一致するように設定する。現在の立地選択確率は住宅、企業それぞれの面積の合計でゾーン毎のそれぞれの面積を割る事で算出する。キャリブレーションは以下の手順で行った。

- i. 実数値と式 (4), (8) で求められる推定値との差の二乗を取る。
- ii. 一つのゾーンにおいて差の二乗の最小化を行い、調整項 τ_i もしくは π_i を求める。
- iii. 一つ調整項が求まると、式 (4), (8) の分母が変わるため、他のゾーンの差の二乗が変化する。
- iv. 一つのゾーンの差の二乗を最小化しても他のゾ

ーンに影響がなくなり、各ゾーンの差の二乗が十分小さくなるまで最小化を繰り返す。

以上の手順を踏む事で各ゾーンの住宅、製造業の立地選択確率の調整項を設定した。図2に住宅モデルの調整項 τ_i におけるキャリブレーション回数に対する差の二乗の合計の変化を示す。住宅の調整項の場合は10回程度キャリブレーションを繰り返すことで差の二乗の合計に変化がなくなったため、その時点での調整項を採用した。製造業の調整項の設定では200回ほどキャリブレーションを繰り返すことで値に変化がなくなった。この原因としては式(7)によって算出された効用が一部のゾーンで非常に高く、選択確率の予測値が偏っていたためだと考えられる。生産要素が業務トリップ数と用地面積のみであるため、大きな工場が集中しているゾーンに予測値が偏っていると考えられ、今後生産関数の改良なども視野に入れて行きたい。

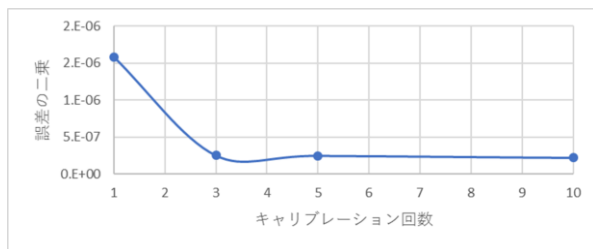


図2 キャリブレーション回数に対する誤差の変化

6. まとめと今後の課題

本研究では定式化された家計、企業（製造業のみ）の各パラメータを設定した。生産効率パラメータ η に関しては算出に必要な合成財生産量が各区の合計しか手に入らなかったため、生産量と相関の高い用地面積の割合を用いて各ゾーンでの η を設定した。調整項に関しては各ゾーンにおいて推定値と実数値の差の二乗の最小化を繰り返すことによって求めた。これにより実数値に予測値を近づけたので現況をほぼ再現できる様になった。しかし、元の間接効用関数の精度に依存せずに現況を再現しているため、今後パラメータの精度の検証やモデルの改良も必要だと考えている。

最終的には新潟市の中央環状線の建設効果の推定と、適切な工業用地の設定や全線二車線化などの政策の評価を行うことを目的としているため、式(9)に政策変数を導入して、統計的にパラメータを推定することを今後の課題としたい。現在建設途中の中央環状線の状況として、周辺に工業地帯があるにも関わらず狭小な道路があることや、開通後に重要な交通結節点になると考えられる黒崎IC周辺が全く未開発なことなどが上げられ政策を導入して改善すべき点が多く見られる。また、現在物流施設における用地取得と建設に対して新潟市は補助金を出しているが、

その効果や適切な金額を示したいと考えている。そのため、これらに対する政策が評価可能になるように、以下の変数の導入を検討している。

- ・ICへのアクセス時間
- ・新潟港へのアクセス時間
- ・物流施設立地のための補助金額
- ・工業用途地域面積
- ・工場適地の有無

最後の工場適地は経済産業省が指定するものであり、指定された地域は農地から転用する際の事前審査が不要になるというメリットがある。この工場適地の指定の効果も推定したいと考えている。2車線化については今後統合を考えている交通モデルにおいて効果を推定することを目指している。

謝辞

本研究を進めるにあたってデータの提供をしてくださった新潟市都市交通政策課及び資産税課の方々、本研究に対してご助言をくださった方々に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 上田孝行：Excelで学ぶ・地域都市経済分析，コロナ社，2010。
- 2) 山崎清，武藤慎一：開発・誘発交通を考慮した道路整備効果の分析，運輸政策研究，Vol. 11，No. 2，pp. 14-25，2008。
- 3) 兵藤 哲朗，坂井 孝典，河村 和哉：東京都市圏物資流動調査による空間相関を考慮した物流施設立地選択モデルの検討，土木学会論文集D3（土木計画学），Vol. 71，No. 4，156-167，2015。
- 4) 小池 淳司，友國 純志，山本 浩道：応用都市経済モデルにおける立地選択モデルの事後業かど発展方向 土木学会論文集D3（土木計画学），Vol. 72，No. 5（土木計画学研究・論文集第33巻），I_695-I_705，2016。