

洪水リスクを考慮した 立地適正化計画策定手法の提案

西鶴 誠希¹・武藤 慎一²

¹ 学生員 山梨大学 大学院医工農総合教育部工学専攻 (〒400-8511 山梨県甲府市武田 4-3-11)

E-mail:g17tc011@yamanashi.ac.jp

² 正会員 山梨大学准教授 大学院総合研究部工学域 (〒400-8511 山梨県甲府市武田 4-3-11)

E-mail:smutoh@yamanashi.ac.jp

都市機能の集約化を図るために立地適正化計画制度が創設されているが、各規制を強化することで都市をコンパクト化させるため、一般には社会的厚生を低下させ、経済的損失が発生すると考えられる。また、そこでは災害への配慮が不十分という問題があった。

そこで山梨県の甲府都市圏を対象に、応用一般均衡型都市経済モデル (CGEUE) を用いて、ゾーンごとの土地供給量を変更したことによる環境外部性の低減、社会的経済損失、災害発生時の被害を計測した。その結果、施策の実施によりどれだけCO₂排出量が削減できるのか、地域生産にはどう影響するのか、最終的にゾーン別帰着便益により経済的影響が評価できることを示した。

Key Words : Location Normalization Plan, CGEUE model, flood damage

1. はじめに

今後のまちづくりの分野では、急激な人口減少や高齢化にいかに対処するかが、最大の課題になっている。これに対し、国土交通省では都市のコンパクト化と地域交通の再編による「コンパクト・プラス・ネットワーク」のまちづくりが有効であるとして、平成26年8月の都市再生特別措置法の改正により、従来のコンパクトシティの実現を、現実的に達成することを目的とした立地適正化計画制度を創設した¹⁾。立地適正化計画では、医療や福祉施設、商業施設や住居等の立地をいくつかの核を設けて集約化し、公共交通により各施設間の移動が行えるように公共交通を再編することにより、財政面、経済面、そして環境面において持続可能な都市経営を可能とするまちづくりを目指している。具体的には、都市機能誘導区域や居住誘導区域等を設定し、各施設にアクセスできるよう地域公共交通を再編するというような検討がなされている。

都市施設の集約化は、施設間の移動距離の削減につながり、さらに公共交通の再編により自動車から公共交通への転換が図られたならば、自動車に起因する環境外部性の低減が期待できる。また、電気、水道、ガスなどの維持更新費用の節約にもつながる。都市のコンパクト化は、こうしたメリットをもたらす一方で、経済的な損失

をもたらす可能性が高い。

なぜなら、現状は土地利用規制や容積率規制があるものの、その規制下において、各経済主体は最適な行動をとり、その下では社会的厚生が最大化されていると考えられる。これに対し、都市のコンパクト化は、各規制をより強化することにより達成されるものであることから、現状の社会的厚生を低下させることになり、経済的損失が発生すると考えられるのである²⁾。

また、現状の立地適正化計画では災害への配慮が不十分という問題もある。都市の集約化の候補地は交通の利便性の高い地域になるものと考えられるが、集約化させることにより、災害発生時の被害を拡大させる恐れがある⁴⁾。そのため災害リスクも加味した計画立案が重要になると思われる。

以上を踏まえると、立地適正化計画の立案にあたっては都市の集約 (コンパクト) 化により、**1)** どの程度環境外部性が低減し、社会基盤の維持更新費が節約されるのか、**2)** 社会的経済損失がどの程度生じるのか、**3)** 災害発生時の被害を極力抑えながら交通の利便性を確保するにはどの程度集約させればよいのか、これらを十分に踏まえた検討が必要といえる。そこで本研究では、以上の三点が評価可能な応用一般均衡型都市経済 (CGEUE : Computable General Equilibrium & Urban Economic) モデル⁵⁾を



図-1 立地適正化計画 関連施策との連携⁶⁾

開発し、一般均衡体系における立地適正化計画策定手法を提案する。そして、実際に山梨県の甲府都市圏に適用し、本手法の有効性を明らかにすることが目的である。

2. 立地適正化計画を検討する観点とその評価

国土交通省では、立地適正化計画の策定の手引き（案）⁶⁾を作成し、各地方自治体が様々な外部性（図-1）を考慮した上で、適正立地を考えられるように配慮している。本研究ではその中で、環境分野の「都市環境」、公共施設再編にあたる「インフラ整備」、そして「防災」の3つの観点を重点的に考慮したい。

従来のコンパクトシティの概念は、自動車に過度に依存した都市構造の変革を図るものであり、そこでは環境負荷排出の低減が主なターゲットにされていた。特に地球温暖化問題は深刻であり、IPCCの第5次評価報告書⁷⁾では、今後ますます気温の上昇やそれに伴う被害が増加するとされている。わが国でも地球温暖化の促進を抑制するため、2030年度に2013年度比26.0%の温室効果ガス排出の削減目標⁸⁾を定めている。そのため、立地の適正化の客観的評価を行う上で、環境負荷排出の削減量により「都市環境」の項目を考慮することは必須といえる。

次に「インフラ整備」は、国内各地において建設年次から30年を超えた公共構造物の老朽化が深刻となっており、インフラ整備の維持管理が重要とされている⁹⁾。ただし、インフラの維持更新にも多額の費用を要するため、優先順位を決めて効果的な維持管理を行うこと、また不必要な社会基盤は、思い切って廃止するなどの検討も必要になってくる可能性は高い。そして、このときの判断は、立地適正化計画を実行した際の状況にも依存するため、「インフラ整備」の視点も計画立案には重要となる。

最後に「防災」は、自然災害が多いわが国では、災害に強いまちづくりが長年のテーマとされ、強大な自然災害が発生しても被害を最小限に抑えられるような強靱なまちを造ることが求められている。立地適正化を図る上でも「防災」の観点は外せないといえる。

続いて、立地適正化計画の評価に関する既存研究を整理する。立地適正化計画の基となったコンパクトシティに関する研究が多くなされてきた。水谷ら¹⁰⁾は都市経済モデルを用いて交通整備やコンパクトシティの実現が、

各産業の生産行動や雇用に与える影響を評価している。高橋ら¹¹⁾はコンパクトシティ形成に要する費用、便益を分析する会計システムを構築し、それに基づく環境負荷削減効果を計測している。しかし、これらの研究はいずれも、交通整備によるコンパクトシティへの影響が評価されているものの、立地の変化は考慮されていない。

また、防災の観点から立地適正化計画の立案を試みた研究には竹間、佐藤¹²⁾がある。彼らは、立地均衡モデルを用いて自然災害を想定した立地適正化計画に基づく立地誘導策が、都市内人口分布に及ぼす影響を評価している。しかし、家計の住宅立地は考慮されているものの、企業の産業立地については評価されていない。

本研究では、以上のような環境負荷や災害による被害という外部性制約がある中で、適正立地を検討する。これと同様な視点による研究として、河野ら³⁾は一般均衡分析を用いて外部不経済を考慮し、社会的厚生を最大化するような最適土地利用密度規制を評価している。さらに河野ら¹³⁾は、一般均衡分析を用いて最適用途別床面積規制の下であれば、用途別総敷地面積規制は市場均衡に任せても最適としている。本研究ではこれらの考え方を踏まえ、土地利用規制を変更することにより、社会的厚生を最大化させることを考える。これにより、適正な立地を提示できると考えられる。

ただし、河野らの一連の研究^{3),13)}は、理論分析が中心であったため、数値計算に基づく計量的な分析を行う枠組みが必要であった。そこで本研究では、応用一般均衡型都市経済（CGEUE：Computable General Equilibrium & Urban Economic）モデルを開発し、それに基づき一般均衡体系における立地適正化計画の評価を行い、効果的な計画立案を行うための手法を開発するものとした。なお、CGEUEモデルは、武藤ら⁵⁾が開発した一般均衡型CUEモデルを、より特徴がはっきりするように読み替えたものである。

3. CGEUEモデルの構築

(1) CGEUEモデルの前提

本研究で構築するCGEUEモデルは、武藤ら⁵⁾が開発した一般均衡型CUEモデルを基にしており、複数のゾーンに分割された都市圏を対象とする。経済主体はCGEと同様であり、ゾーンごとに代表家計と産業部門別の企業、さらに政府、公的投資部門、民間投資部門が存在する。このうち企業に関しては、産業部門を農林水産業、製造業、業務系サービス業、商業、対個人サービス業、不動産業、貨物運輸業、旅客運輸業の8部門とした。市場に関しては、CGEモデルと同じように地域全体で統一的な一つの市場が成立すると想定するものと、

CUE モデルのようにゾーンごとに市場が成立すると想定するものと分けて取り扱う。具体的には、農林水産業、製造業および労働、資本市場は、地域全体で一つの統一的な市場が成立するとした。また、業務系サービス、商業、対個人サービスは、これらのサービスが基本的には供給されるゾーンに出掛けなければ消費できないという特性を持っていることから、ゾーンごとに市場が成立するものとした。

また、貨物、旅客の両運輸サービスは OD 別に市場が成立するとした。これにより、交通の持つ OD 別サービスという現実的特性を踏まえたモデル化が行えることになる。そして、旅客運輸サービスについては、交通機関選択を考慮し、さらに自動車交通に関しては交通量配分による経路選択まで考慮している。

最後に、不動産もゾーンごとに市場が成立するとした。本モデルにおける不動産業は、基本的な行動モデルは他の産業と同じであるが、その中の生産要素の一つである資本を土地とみなすことにした。すなわち、不動産業は、中間投入財と労働に加え、土地という資本を投入して不動産サービスを提供する。ただし、土地は他のゾーンから借りて投入することなどができないため、あるゾーンにおいて不動産サービスを提供する場合、そのゾーンに存在する土地のみが投入されるものとした。その結果、不動産業の投入する不動産資本だけはゾーンごとに市場が成立することになり、その不動産資本を投入して生産される不動産サービスもゾーンごとに市場が清算されるものとした。

本モデルでは、立地適正化計画をゾーン別不動産資本供給量を政策的に変更することにより表現するものとした。これにより、各経済主体の立地をコントロールすることが可能になる。そして、立地適正化計画の実施による立地の変更は OD 交通のパターンや交通機関選択を変化させることになり、その結果自動車交通に起因する環境外部性も変化する。なお、本稿での環境外部性は、自動車に起因する二酸化炭素 (CO₂) のみを取り上げることとし、交通量配分から求められる自動車交通の総走行距離に CO₂ 排出原単位を乗じて求めることにした¹⁴⁾。

次節以降では、各経済主体の具体的な行動モデルについて定式化を示しながら説明する。

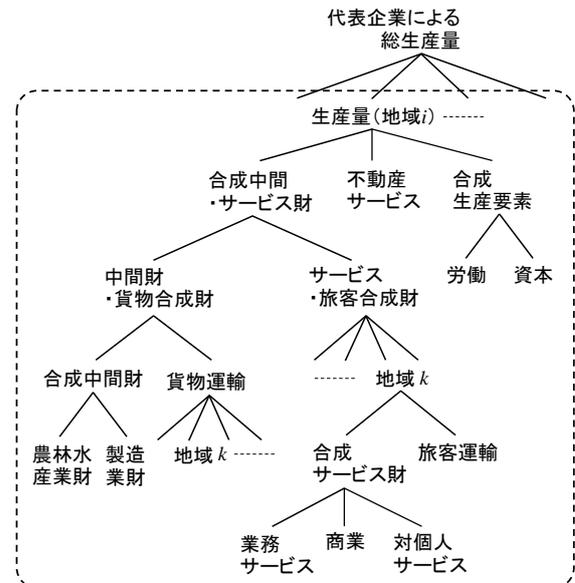


図-2 企業行動モデルのツリー構造

(2) 企業の行動モデル

ここでは、 m 財を生産する企業 (m 企業) の行動モデルを示す。その行動モデルの概要を図-2に示しているが、そのツリー構造は CGE モデルにおける企業の行動モデルと同様である^{15)あるいは16)}。ただし、地域全体で一つの市場を想定する農林水産業財および製造業財と、ゾーンごとに市場を想定するサービス系消費財で若干差異がある。サービス系消費財を生産する企業の行動モデルは図-1の破線部で囲まれたものとなり、これは従来の CGE モデルあるいは SCGE モデルの企業の行動モデルと同じである。一方、農林水産業および製造業は、地域全体での代表企業を想定し、どの地域から生産財を調達して地域全体の市場に供給するかを決定する行動が追加的に考慮される。その行動モデルは以下のような生産技術制約下での費用最小化問題により定式化される。

$$p_m y_m = \min_{y_m} \sum_i p_m^i y_m^i \quad (1a)$$

$$\text{s.t. } y_m = \gamma_m \left[\sum_i \alpha_m^i \left\{ \beta_m^i y_m^i \right\}^{\frac{\sigma_m - 1}{\sigma_m}} \right]^{\frac{\sigma_m}{\sigma_m - 1}} \quad (1b)$$

ただし、 y_m, p_m : 地域全体での財 m 生産量と m 財価格、 y_m^i, p_m^i : ゾーン i での財 m の生産量とその価格、 α_m^i, β_m^i : 分配パラメータ ($\sum_m \alpha_m^i = 1, \sum_m \beta_m^i = 1$)、 γ_m : 効率パラメータ、 σ_m : 代替弾力性パラメータ。

ラグランジュ未定乗数法により式(1)を解くと、以下のゾーン別生産量が求められる。

$$y_m^i = \frac{1}{\gamma_m (\beta_m^i)^{1 - \sigma_m}} \left(\frac{\alpha_m^i}{p_m^i} \right)^{\sigma_m} \Psi_m^{\frac{\sigma_m}{1 - \sigma_m}} \cdot y_m \quad (2)$$

ただし、 $\Psi_m = \sum_i (\alpha_m^i)^{\sigma_m} \left(\frac{p_m^i}{\beta_m^i} \right)^{1-\sigma_m}$.

式(2)を式(1a)に代入すると、 m 財価格が求められる。

$$p_m = \frac{1}{\gamma_m} \Psi_m^{\frac{1}{1-\sigma_m}} \quad (3)$$

次に、企業は各ゾーンにおいて、合成中間・サービス財、不動産サービス、合成生産要素の各投入量を決定する。具体的には、農林水産業および製造業は、式(2)で決定されたゾーン i 別の生産量に対し、合成中間・サービス財、不動産サービス、合成生産要素の投入量を決定する。一方、サービス系消費財を生産する企業は、ゾーンごとに市場が想定されていることからゾーンごとの需要に応じた生産を行うため、その生産量に対し、中間財および生産要素の投入量を決定するものとする。

以降の定式化は、農林水産業および製造業と、サービス系消費財生産企業とで同一となり、合成中間・サービス財に対しては中間財・貨物合成財とサービス・旅客合成財の消費量を決定し、中間財・貨物合成財に対しては合成中間財と貨物運輸を決定する。このうち合成中間財に対しては農林水産業財と製造業財の消費量を、貨物運輸に対してはその投入先ゾーンの選択を行う。また、サービス・旅客合成財は、まずどこで消費するかのゾーン選択を行い、ゾーンごとに合成サービス財と旅客運輸の消費量を決定する。そして、合成サービス財に対し業務、商業、対個人の各サービス消費量を決定する。一方、合成生産要素に対しては労働と資本の各投入量を決定する。

以上の企業の間接財あるいは生産要素の投入行動モデルは、すべて Barro 型 CES 生産関数による生産技術制約下での費用最小化行動によって定式化する。なお、これらの定式化の枠組みはすべて同じである。そこで、以下には図-1 の最上位の合成中間財、不動産サービス、合成生産要素に関する投入量決定の費用最小化問題のみを示し、残りは煩雑となるため付録にまとめて示した。

$$p_m^i y_m^i = \min_{z_m^i, x_{REm}^i, cf_m^i} \left[q_m^i z_m^i + p_{RE}^i x_{REm}^i + (1 + \tau_m^i) p_{f_m}^i cf_m^i \right] \quad (4a)$$

$$\text{s.t. } y_m^i = \gamma_m^i \left[\alpha_{Zm}^i \left\{ \beta_{Zm}^i z_m^i \right\}^{\frac{\sigma_m^i-1}{\sigma_m^i}} + \alpha_{REm}^i \left\{ \beta_{REm}^i x_{REm}^i \right\}^{\frac{\sigma_m^i-1}{\sigma_m^i}} + \alpha_{cfm}^i \left\{ \beta_{cfm}^i cf_m^i \right\}^{\frac{\sigma_m^i-1}{\sigma_m^i}} \right]^{\frac{\sigma_m^i}{\sigma_m^i-1}} \quad (4b)$$

ただし、 z_m^i, q_m^i : 合成中間・サービス財投入量とその価格、 x_{REm}^i, p_{RE}^i : 不動産サービス投入量と不動産価格、 $cf_m^i, p_{f_m}^i$: 合成生産要素投入量とその価格、 τ_m^i : 純間接税率（間接税率 - 補助率）、 $\alpha_{Zm}^i, \alpha_{REm}^i, \alpha_{cfm}^i$,

$\beta_{Zm}^i, \beta_{REm}^i, \beta_{cfm}^i$: 分配パラメータ
 ($\alpha_{Zm}^i + \alpha_{REm}^i + \alpha_{cfm}^i = 1$, $\beta_{Zm}^i + \beta_{REm}^i + \beta_{cfm}^i = 1$) ,
 γ_m^i : 効率パラメータ, σ_m^i : 代替弾力性パラメータ.

式(4)を解くと、以下の需要関数が求められる。

$$z_m^i = \frac{1}{\gamma_m^i (\beta_{Zm}^i)^{1-\sigma_m^i}} \left(\frac{\alpha_{Zm}^i}{q_m^i} \right)^{\sigma_m^i} \Psi_m^i \frac{\sigma_m^i}{1-\sigma_m^i} y_m^i \quad (5a)$$

$$x_{REm}^i = \frac{1}{\gamma_m^i (\beta_{REm}^i)^{1-\sigma_m^i}} \left(\frac{\alpha_{REm}^i}{p_{RE}^i} \right)^{\sigma_m^i} \Psi_m^i \frac{\sigma_m^i}{1-\sigma_m^i} y_m^i \quad (5b)$$

$$cf_m^i = \frac{1}{\gamma_m^i (\beta_{cfm}^i)^{1-\sigma_m^i}} \left(\frac{\alpha_{cfm}^i}{p_{f_m}^i} \right)^{\sigma_m^i} \Psi_m^i \frac{\sigma_m^i}{1-\sigma_m^i} y_m^i \quad (5c)$$

ただし、

$$\Psi_m^i = \left(\alpha_{Zm}^i \right)^{\sigma_m^i} \left(\frac{q_m^i}{\beta_{Zm}^i} \right)^{1-\sigma_m^i} + \left(\alpha_{REm}^i \right)^{\sigma_m^i} \left(\frac{p_{RE}^i}{\beta_{REm}^i} \right)^{1-\sigma_m^i} + \left(\alpha_{cfm}^i \right)^{\sigma_m^i} \left(\frac{(1 + \tau_m^i) p_{f_m}^i}{\beta_{cfm}^i} \right)^{1-\sigma_m^i}$$

式(5)を式(4a)に代入すると、 m 財のゾーン i 別価格が求められる。

$$p_m^i = \frac{1}{\gamma_m^i} \Psi_m^i \frac{1}{1-\sigma_m^i} \quad (6)$$

以降の定式化は、付録に示している。そこでの定式化も踏まえると、式(3)あるいは式(6)の m 財価格は、他の中間財の価格とともに、不動産価格、貨物と旅客の運輸サービス価格、賃金率、利子率の関数になっていることがわかる。また、生産要素投入モデルにより、ゾーン別の労働投入量が決定されることもわかる。

このゾーン別の労働投入量に対し、家計はその企業で労働するか、労働するなら通勤時間等を考慮してどのゾーンに居住するかという立地選択を行うものとする。次節では、この立地選択行動を含む家計行動モデルを定式化する。

(3) 家計の行動モデル

a) 立地選択行動モデル

ここでは、ゾーン i に勤務する家計が居住地としてゾーン j を選択する立地選択行動モデルを示す。その行動モデルは、図-3 のようなツリー構造により表現される。本モデルでは、立地選択行動も含めCES関数で特定化した効用関数を用いて家計行動を定式化する。CGEモデルでは、家計の消費行動モデルや企業の生産行動モデルをCES型関数モデルで定式化しており、それらと整合的するようにして“behavior consistency”をに満たすようにしたものである。

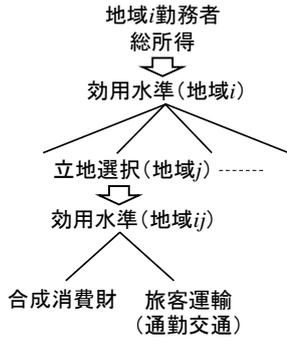


図-3 家計の立地選択行動モデルのツリー構造

この立地選択行動は財消費行動と同じように、家計が居住地*j*でどれだけ効用を得るのかを決定する問題としてモデル化する。それは以下のように表される。

$$e_H^i = \min_{u_H^i} \left[\sum_j p_V^j u_H^i \right] \quad (7a)$$

$$\text{s.t. } u_H^i = \gamma_{LH}^i \left[\sum_j \alpha_{LH}^j \beta_{LH}^j u_H^i \right]^{\frac{\sigma_{LH}^i - 1}{\sigma_{LH}^i}} \quad (7b)$$

ただし、 u_H^i ：ゾーン*j*に居住しゾーン*i*に勤務する家計が獲得する効用水準、 p_V^j ：効用水準の価格（式(15)より決定される）、 $\alpha_{LH}^j, \beta_{LH}^j$ ：分配パラメータ（ $\sum_j \alpha_{LH}^j = 1, \sum_j \beta_{LH}^j = 1$ ）、 γ_{LH}^i ：効率パラメータ、 σ_{LH}^i ：代替弾力性パラメータ。

式(7)は、ゾーン*i*に勤務する家計の総効用 u_H^i を基に、彼らが居住地*j*を選択し、そこでどれだけ効用を得るのかを、支出最小化問題により表現したものである。この中で p_V^j は効用水準の価格と呼んでいるが、後に示す式(13)のゾーン*j*に居住しゾーン*i*に勤務する家計の合成消費財および通勤交通の消費行動モデルから導出される p_V^j （式(15)）により求められる。すなわち u_H^i は、合成消費財と通勤交通の合成財を意味するともいえるが、これをここでは、従来の立地モデルと合わせるために効用水準と呼ぶことにしたものである。

式(7)を解くと、 u_H^i が以下のとおり求められる。

$$u_H^i = \frac{1}{\gamma_{LH}^i (\beta_{LH}^j)^{1-\sigma_{LH}^i}} \left(\frac{\alpha_{LH}^j}{p_V^j} \right)^{\sigma_{LH}^i} \Psi_{LH}^i \frac{\sigma_{LH}^i}{1-\sigma_{LH}^i} \cdot u_H^i \quad (8)$$

$$\text{ただし、} \Psi_{LH}^i = \sum_n \left(\alpha_{LH}^n \right)^{\sigma_{LH}^i} \left(\frac{p_V^n}{\beta_{LH}^n} \right)^{1-\sigma_{LH}^i}.$$

式(8)は、ゾーン*j*の効用水準価格（あるいは合成財価格）が低下すれば、そこで得ようとする効用水準 u_H^i が増加する関数形となっていることがわかる。式(8)を式(7a)に代入すると、勤務地*i*における総支出水準が以下のように求められる。

$$e_H^i = \frac{1}{\gamma_{LH}^i} \Psi_{LH}^i \frac{1}{1-\sigma_{LH}^i} \cdot u_H^i \quad (9)$$

$$= p_V^i \cdot u_H^i$$

ただし、簡単化のため $p_V^i \equiv \frac{1}{\gamma_{LH}^i} \Psi_{LH}^i \frac{1}{1-\sigma_{LH}^i}$ とおいている。

ここで、そもそも支出水準とは価格が与えられた下で、ある効用（ここでは u_H^i ）を実現するために必要な所得を意味する。今、家計一人あたり所得が全家計に対し同一であると仮定し、ゾーン*i*に勤務する家計数を全産業の労働投入時間の地域比率により求めるものとすれば、ゾーン*i*に勤務する家計の総所得は以下のとおり求められる。

$$\Omega_H^i = \phi_H N_H^i \quad (10a)$$

ただし、 ϕ_H ：家計一人あたり所得、 N_H^i ：ゾーン*i*に勤務する家計人口数であり、それぞれ以下により求められる。

$$\phi_H = \frac{\left\{ wT + rK + \sum_j r_{RE}^j K_{RE}^j \right\} (1 - \tau_H) - S_H}{N^T} \quad (10b)$$

$$N_H^i = \frac{\sum_m l_m^i}{\sum_i \sum_m l_m^i} N_H^T \quad (10c)$$

ただし、 T ：対象地域全体の総利用可能時間の合計、 K ：対象地域全体の総資本ストック量（ただし、不動産の投入する資本ストック量を除く）、 K_{RE}^j ：ゾーン*j*の不動産資本ストック量、 w, r ：賃金率と利率、 r_{RE}^j ：ゾーン*j*の不動産資本利率、 τ_H ：所得税率、 S_H ：地域全体の総貯蓄額（この額は、基準年値で固定であるとする）、 l_m^i ：産業*m*のゾーン*i*における労働投入時間、 N_H^T ：地域全体の総家計数（固定）。

以上のとおり勤務地*i*における総所得が求められることより、その所得水準の下で実現される効用水準が、式(9)の総支出水準式より以下のように求められる。

$$v_H^i = \frac{\Omega_H^i}{p_V^i} \quad (11)$$

これを式(8)の u_H^i に代入することにより、ゾーン*j*に居住しゾーン*i*に勤務する家計の効用水準が求められる。なお、その効用水準が決定される際に用いられる価格は p_V^j であり、ゾーン*j*に居住しゾーン*i*に勤務する家計の支出額は $p_V^j \cdot u_H^i$ となる。ゾーン*i*に勤務しゾーン*j*に居住する家計人口数は、この家計の支出額の地域比率から導出できる。

$$N_H^j = \frac{p_V^j \cdot u_H^i}{\Omega_H^i} N_H^i \quad (12a)$$

なお、 $\Omega_H^i = \sum_j p_V^j \cdot u_H^i$ であり、式(10c)を代入すると、

式(12a)は以下のようにも表される。

$$N_H^{ij} = \frac{p_V^{ij} \cdot u_H^{ij}}{\sum_j p_V^{ij} \cdot u_H^{ij}} \cdot \frac{\sum_m l_m^i}{\sum_i \sum_m l_m^i} \cdot N_H^T \quad (12b)$$

以上より、本モデルでは u_H^{ij} を決定することが立地を決定すると解釈できる。

次に、図-2より、ゾーン j に居住することを決めた家計は、合成消費財と通勤交通に係る旅客運輸サービスの各消費量を決定する。これは、以下の支出最小化問題により定式化される。

$$p_V^{ij} u_H^{ij} = \min_{z_{VH}^{ij}, x_{TPCH}^{ij}} \left[q_{VH}^j z_{VH}^{ij} + p_{TP}^{ij} x_{TPCH}^{ij} \right] \quad (13a)$$

$$\text{s.t. } u_H^{ij} = \gamma_{CH}^{ij} \left[\begin{aligned} & (1 - \alpha_{CH}^{ij}) \left\{ (1 - \beta_{CH}^{ij}) z_{VH}^{ij} \right\}^{\frac{\sigma_{CH}^{ij}-1}{\sigma_{CH}^{ij}}} \\ & + \alpha_{CH}^{ij} \left\{ \beta_{CH}^{ij} x_{TPCH}^{ij} \right\}^{\frac{\sigma_{CH}^{ij}-1}{\sigma_{CH}^{ij}}} \end{aligned} \right]^{\frac{\sigma_{CH}^{ij}}{\sigma_{CH}^{ij}-1}} \quad (13b)$$

ただし、 z_{VH}^{ij}, q_{VH}^j : ゾーン j での合成消費財の消費量とその価格、 $x_{TPCH}^{ij}, p_{TP}^{ij}$: 通勤のための旅客運輸サービスの消費量とその価格、 $\alpha_{CH}^{ij}, \beta_{CH}^{ij}$: 分配パラメータ、 γ_{CH}^{ij} : 効率パラメータ、 σ_{CH}^{ij} : 代替弾力性パラメータ。

式(13)を解くと、以下の需要関数が求められる。

$$z_{VH}^{ij} = \frac{1}{\gamma_{CH}^{ij} (1 - \beta_{CH}^{ij})^{1 - \sigma_{CH}^{ij}}} \left(\frac{1 - \alpha_{CH}^{ij}}{q_{VH}^j} \right)^{\sigma_{CH}^{ij}} \Psi_{CH}^{ij} \frac{\sigma_{CH}^{ij}}{1 - \sigma_{CH}^{ij}} \cdot u_H^{ij} \quad (14a)$$

$$x_{TPCH}^{ij} = \frac{1}{\gamma_{CH}^{ij} (\beta_{CH}^{ij})^{1 - \sigma_{CH}^{ij}}} \left(\frac{\alpha_{CH}^{ij}}{p_{TP}^{ij}} \right)^{\sigma_{CH}^{ij}} \Psi_{CH}^{ij} \frac{\sigma_{CH}^{ij}}{1 - \sigma_{CH}^{ij}} \cdot u_H^{ij} \quad (14b)$$

ただし、 $\Psi_{CH}^{ij} = (1 - \alpha_{CH}^{ij})^{\sigma_{CH}^{ij}} \left(\frac{q_{VH}^j}{1 - \beta_{CH}^{ij}} \right)^{1 - \sigma_{CH}^{ij}} + (\alpha_{CH}^{ij})^{\sigma_{CH}^{ij}} \left(\frac{p_{TP}^{ij}}{\beta_{CH}^{ij}} \right)^{1 - \sigma_{CH}^{ij}}$ 。

式(14)を式(13a)に代入すると、式(7)で用いた効用水準の価格が求められる。

$$p_V^{ij} = \frac{1}{\gamma_{CH}^{ij}} \Psi_{CH}^{ij} \frac{1}{1 - \sigma_{CH}^{ij}} \quad (15)$$

b) 家計の財消費行動モデル

次に、家計は式(14a)の合成消費財に対し、消費財やサービス財、余暇の消費を行う。なお、式(14a)の合成消費財の価格 q_{VH}^j は勤務地 i に依存しない。そのため、勤務地 i で合計をとった式(16)の z_{VH}^j に対して、家計消費決定モデルを構築することにする。

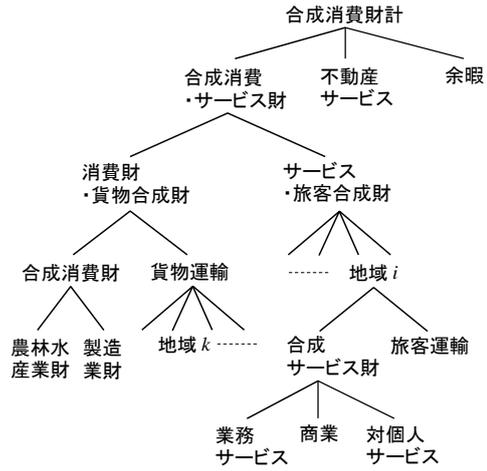


図-4 家計行動モデルのツリー構造

$$z_{VH}^j = \sum_i z_{VH}^{ij} \quad (16)$$

家計の消費行動モデルもCGEモデルを参考に構築することにし¹³⁾、そのツリー構造は図-4のとおりとした。企業の行動モデル(図-2)における合成生産要素投入が余暇消費に置き換わっただけで、他は全く同じ構造となっている。すなわち、まず家計は、合成消費・サービス財、不動産サービス、余暇の消費量を決定する。そして、合成消費・サービス財に対しては消費財・貨物合成財とサービス・旅客合成財の消費量を決定し、消費財・貨物合成財に対しては合成消費財と貨物運輸を決定する。このうち合成消費財に対しては農林水産業財と製造業財の消費量を、貨物運輸に対してはその投入先ゾーンの選択を行う。また、サービス・旅客合成財に対しては、まずどこで消費するかゾーンの選択を行い、ゾーンごとに合成サービス財と旅客運輸の消費量を決定する。そして、合成サービス財に対し業務、商業、対個人の各サービス消費量を決定する。

以上の家計の消費行動モデルも、枠組みは企業と同様であり、Barro型CES効用関数による効用水準一定の制約下での支出最小化行動によって定式化する。図-3の最上位の合成消費財、不動産サービス、余暇に関する消費量決定の支出最小化問題は以下ようになる。

$$q_{VH}^j z_{VH}^j = \min_{z_H^j, x_{REH}^j, l_H^j} \left[q_H^j z_H^j + p_{RE}^j x_{REH}^j + w l_H^j \right] \quad (17a)$$

$$\text{s.t. } z_{VH}^j = \gamma_H^j \left[\begin{aligned} & \alpha_{ZH}^j \left\{ \beta_{ZH}^j z_H^j \right\}^{\frac{\sigma_H^j-1}{\sigma_H^j}} \\ & + \alpha_{REH}^j \left\{ \beta_{REH}^j x_{REH}^j \right\}^{\frac{\sigma_H^j-1}{\sigma_H^j}} \\ & + \alpha_{LH}^j \left\{ \beta_{LH}^j l_H^j \right\}^{\frac{\sigma_H^j-1}{\sigma_H^j}} \end{aligned} \right]^{\frac{\sigma_H^j}{\sigma_H^j-1}} \quad (17b)$$

ただし, z_H^j, q_H^j : 合成消費・サービス財投入量とその価格, x_{REH}^j, p_{RE}^j : 不動産サービス消費量と不動産価格, l_H^j, w : 余暇消費量と賃金率 $\alpha_{ZH}^j, \alpha_{REH}^j, \alpha_{LH}^j, \beta_{ZH}^j, \beta_{REH}^j, \beta_{LH}^j$: 分配パラメータ ($\alpha_{ZH}^j + \alpha_{REH}^j + \alpha_{LH}^j = 1$, $\beta_{ZH}^j + \beta_{REH}^j + \beta_{LH}^j = 1$), γ_H^j : 効率パラメータ, σ_H^j : 代替弾力性パラメータ.

式(17)を解くと, 以下の需要関数が求められる.

$$z_H^j = \frac{1}{\gamma_H^j (\beta_{ZH}^j)^{1-\sigma_H^j}} \left(\frac{\alpha_{ZH}^j}{q_H^j} \right)^{\sigma_H^j} \Psi_H^j \frac{\sigma_H^j}{1-\sigma_H^j} \cdot z_{VH}^j \quad (18a)$$

$$x_{REH}^j = \frac{1}{\gamma_m^j (\beta_{REH}^j)^{1-\sigma_m^j}} \left(\frac{\alpha_{REH}^j}{p_{RE}^j} \right)^{\sigma_m^j} \Psi_m^i \frac{\sigma_m^j}{1-\sigma_m^j} \cdot z_{VH}^j \quad (18b)$$

$$l_H^j = \frac{1}{\gamma_H^j (\beta_{LH}^j)^{1-\sigma_H^j}} \left(\frac{\alpha_{LH}^j}{w} \right)^{\sigma_H^j} \Psi_H^j \frac{\sigma_H^j}{1-\sigma_H^j} \cdot z_{VH}^j \quad (18c)$$

ただし,

$$\Psi_H^j = (\alpha_{ZH}^j)^{\sigma_H^j} \left(\frac{q_H^j}{\beta_{ZH}^j} \right)^{1-\sigma_H^j} + (\alpha_{REH}^j)^{\sigma_H^j} \left(\frac{p_{RE}^j}{\beta_{REH}^j} \right)^{1-\sigma_H^j} + (\alpha_{LH}^j)^{\sigma_H^j} \left(\frac{w}{\beta_{LH}^j} \right)^{1-\sigma_H^j}.$$

式(18)を式(17a)に代入すると, 合成消費財の価格が求められる.

$$q_H^j = \frac{1}{\gamma_H^j} \Psi_H^j \frac{1}{1-\sigma_H^j} \quad (19)$$

以上にて, 図-3の最上位の各消費量が求められた. これ以降の定式化も, 図-3のツリーにしたがって行われる. ただし, それらは企業の生産行動モデルの合成中間財に関する投入モデル, すなわち付録の(2)~(8)にて添字 m を家計の添字 H に置き換えたものと同じである. したがって, ここではその定式化を示すことは割愛したい.

(4) 不動産業の行動モデル

不動産業とは, 家計や企業がその場所で経済活動を営むための場所を確保するのに必要な不動産サービスを供給する主体である. 家計がゾーン j に居住する場合, あるいは企業がゾーン j で生産活動を行う場合, ゾーン j の不動産サービスをそれぞれ投入しなければならない. なお, この具体的なデータは, 産業連関表における家計および各企業の不動産部門からの投入額を用いる. そこでは, 持ち家も帰属家賃²⁹⁾の概念に基づき考慮されている. また, これを本モデルに適用するにあたり, 基準年の主体別不動産投入額データを基に, 家計は一家計あたり, 企業は従業人口あたりの不動産投入額が同一であるとして, ゾーン別の各主体の不動産サービス投入額を求めた. 一方, 不動産業は, ゾーンごとに家計, 企業の不動産サ

ービス投入量に応じた供給を行うものとした.

その際の不動産業の生産行動モデルは, 3.(2)で説明した他の企業と, 枠組みは同じである. すなわち, 中間財と労働, 資本を投入して不動産サービスを生産する. ただし, 不動産業の投入する資本は土地であると考え, 土地はゾーンごとに固定的に存在するものとする. この結果, 例えば核となる地域を設定するによって都市機能が集約したゾーンは, 立地変更が進み人口が増加する. 人口の増加は, そのゾーンの不動産サービス需要を増加させる. 不動産サービス需要の増加はその生産を増加させ, 労働, 資本といった生産要素投入も増加させる. ただし, 不動産業の投入する不動産資本は土地としており, その供給量はゾーンごとに固定である. そのため, 市場均衡を達成するには, 当該ゾーンの不動産資本の利子率が上昇するため, そのゾーンの不動産サービス価格も上昇する. 不動産サービス価格の上昇は, 各主体の立地変更の誘因 (インセンティブ) を弱めることになり, 最終的にそれがなくなる状態に達する. これが「立地均衡」である.

以上の不動産業の生産行動モデルの具体的な定式化は, 3.(2)の企業と全く同じである. すなわち, 3.(2)の式(4)から式(6)および付録の定式化を不動産部門でも行っている. そのため, ここではその定式化を示すことは割愛したい. なお, それらの定式化より, 不動産業の投入する資本はゾーンごとにその供給量が決まっているが, 不動産資本の利子率が上昇した場合には, 中間財や労働等を代替的に投入して生産水準を維持するような行動をとることもわかる. また, 不動産業の生産行動モデルは他の企業と同じであるが, 不動産資本の市場均衡条件には違いがある. その違いは市場均衡条件において示す.

(5) 運輸企業の行動モデル

本モデルでは, 運輸企業を明示的に考慮した上で, OD別に運輸サービスを生産するものとする. その行動モデルの基本構造は, 3.(2)の企業と同様であり, 中間財と生産要素を投入して運輸サービスを生産する. ただし, OD別に運輸サービスを生産するとしている点と, 交通整備が運輸企業の生産要素投入効率を向上させるというモデル化を行っている点に違いがある.

a) OD別運輸サービス生産

OD別運輸サービス生産については, 企業モデルの式(4)が以下のように修正される.

$$p_T^k y_T^k = \min_{z_T^k, x_{RET}^k, cf_T^k} \left[q_T^k z_T^k + p_{RE}^k x_{RET}^k + (1 + \tau_T^k) p f_T^k c f_T^k \right] \quad (20a)$$

$$\text{s.t. } y_T^{ki} = \gamma_T^{ki} \left[\begin{array}{c} \alpha_{ZI}^{ki} \left\{ \beta_{ZI}^{ki} z_T^{ki} \right\}^{\frac{\sigma_T^{ki}-1}{\sigma_T^{ki}}} \\ + \alpha_{RET}^{ki} \left\{ \beta_{RET}^{ki} x_{RET}^{ki} \right\}^{\frac{\sigma_T^{ki}-1}{\sigma_T^{ki}}} \\ + \alpha_{cT}^{ki} \left\{ \beta_{cT}^{ki} c_T^{ki} \right\}^{\frac{\sigma_T^{ki}-1}{\sigma_T^{ki}}} \end{array} \right]^{\frac{\sigma_T^{ki}}{\sigma_T^{ki}-1}} \quad (20b)$$

ただし、添字 k, i : ゾーン k からゾーン i への輸送サービスを表す、添字 T : 運輸を表す。

式(20)を解いて得られる需要関数は、式(5)の添字を変えたものとなる。運輸サービス価格も同様であるが、価格は特に重要であるので以下に示しておく。

$$p_T^{ki} = \frac{1}{\gamma_T^{ki}} \Psi_T^{ki} \frac{1}{1-\sigma_T^{ki}} \quad (21)$$

$$\text{ただし、} \Psi_T^{ki} = \left(\alpha_{ZI}^{ki} \right)^{\sigma_T^{ki}} \left(\frac{q_{ZI}^{ki}}{\beta_{ZI}^{ki}} \right)^{1-\sigma_T^{ki}} + \left(1 - \alpha_{ZI}^{ki} \right)^{\sigma_T^{ki}} \left(\frac{p_T^{ki}}{1 - \beta_{ZI}^{ki}} \right)^{1-\sigma_T^{ki}} .$$

以上より、本モデルでは、運輸価格は供給されるOD別運輸サービスごとに導出されることになる。

b) 運輸企業の生産要素投入行動モデル

次に、交通整備における運輸企業の生産要素投入行動を説明する。武藤ら⁹⁾と同様に合成生産要素関数がゾーン間所要時間と労働、資本のゼロ次同次になっているものとする。これにより、交通整備によってゾーン間所要時間が半分になった場合、そのゾーン間を移動して輸送サービスを生産する運輸企業の労働および資本の投入量も半分で済むということが考慮できる。ゼロ次同次性を仮定した合成生産要素関数は、以下のように表される。

$$\begin{aligned} c_T^{ki} \left(l_T^{ki}, k_T^{ki} \right) &= c_T^{ki} \left(\lambda l_T^{ki}, \lambda l_T^{ki}, \lambda k_T^{ki} \right) \\ &= c_T^{ki} \left(\frac{t_T^{kiA}}{t_T^{ki}} t_T^{ki}, \frac{t_T^{kiA}}{t_T^{ki}} l_T^{ki}, \frac{t_T^{kiA}}{t_T^{ki}} k_T^{ki} \right) \quad (22) \\ &= c_T^{ki} \left(\text{eff}_T^{ki} \cdot l_T^{ki}, \text{eff}_T^{ki} \cdot k_T^{ki} \right) \end{aligned}$$

ただし、 t_T^{ki} : 運輸企業 T のゾーン k - i 間の交通所要時間、

l_T^{ki}, k_T^{ki} : 運輸企業 T の労働投入量、資本投入量、

$\lambda = \frac{t_T^{kiA}}{t_T^{ki}} \equiv \text{eff}_T^{ki}$ とおいている。

式(22)にしたがえば、運輸企業の労働、資本の投入量決定モデルは以下ようになる。

$$p_T^{ki} c_T^{ki} = \min_{l_T^{ki}, k_T^{ki}} \left[w \cdot l_T^{ki} + r \cdot k_T^{ki} \right] \quad (23a)$$

$$\text{s.t. } c_T^{ki} = \gamma_T^{ki} \left[\begin{array}{c} \alpha_{LT}^{ki} \left\{ \beta_{LT}^{ki} \text{eff}_T^{ki} \cdot l_T^{ki} \right\}^{\frac{\sigma_T^{ki}-1}{\sigma_T^{ki}}} \\ + \left(1 - \alpha_{LT}^{ki} \right) \left\{ \left(1 - \beta_{LT}^{ki} \right) \text{eff}_T^{ki} \cdot k_T^{ki} \right\}^{\frac{\sigma_T^{ki}-1}{\sigma_T^{ki}}} \end{array} \right]^{\frac{\sigma_T^{ki}}{\sigma_T^{ki}-1}} \quad (23b)$$

式(23)を解くと、以下の需要関数が得られる。

$$l_T^{ki} = \frac{1}{\gamma_T^{ki} \left(\beta_{LT}^{ki} \text{eff}_T^{ki} \right)^{1-\sigma_T^{ki}}} \left(\frac{\alpha_{LT}^{ki}}{w} \right)^{\sigma_T^{ki}} \Psi_T^{ki} \frac{\sigma_T^{ki}}{1-\sigma_T^{ki}} \cdot c_T^{ki} \quad (24a)$$

$$k_T^{ki} = \frac{1}{\gamma_T^{ki} \left\{ \left(1 - \beta_{LT}^{ki} \right) \text{eff}_T^{ki} \right\}^{1-\sigma_T^{ki}}} \left(\frac{1 - \alpha_{LT}^{ki}}{r} \right)^{\sigma_T^{ki}} \Psi_T^{ki} \frac{\sigma_T^{ki}}{1-\sigma_T^{ki}} \cdot c_T^{ki} \quad (24b)$$

$$\text{ただし、} \Psi_T^{ki} = \left(\alpha_{LT}^{ki} \right)^{\sigma_T^{ki}} \left(\frac{w}{\beta_{LT}^{ki} \text{eff}_T^{ki}} \right)^{1-\sigma_T^{ki}} + \left(1 - \alpha_{LT}^{ki} \right)^{\sigma_T^{ki}} \left(\frac{r}{\left\{ 1 - \beta_{LT}^{ki} \right\} \text{eff}_T^{ki}} \right)^{1-\sigma_T^{ki}} .$$

式(24)を式(23a)に代入すると合成生産要素価格が求められる。

$$p_T^{ki} = \frac{1}{\gamma_T^{ki}} \Psi_T^{ki} \frac{1}{1-\sigma_T^{ki}} \quad (25)$$

この合成生産要素価格が、ゾーン間所要時間によって決定される eff_T^{ki} の関数になっている。したがって本モデルは、交通整備の影響がこの合成生産要素価格の変化から波及する構造になっていることがわかる。

(6) その他の主体の行動モデル

次に、企業と家計以外の主体として、政府の消費部門、政府の投資部門（公的投資部門）、民間投資部門の行動モデルを示す。

政府は、家計の直接税支払いと企業の純間接税支払いからなる税収を得て、その一部を公的投資に回し、残りを政府消費に充てる。政府の消費部門が決定する n 財消費量は、政府消費に充てられる税収に対し一定比率で支出されるものとする。まず、政府消費部門の農林水産業財、製造業財の消費量は以下により求められる。

$$x_{nGC} = \frac{\alpha_{nGC}}{p_n} \left(1 - \delta_{GI} \right) \Phi_G \quad (26a)$$

ただし、 x_{nGC}, p_n : 政府消費部門の n 財消費量と n 財価格、 Φ_G, δ_{GI} : 政府税収と政府税収に対する公共投資比率、 α_{nGC} : 分配パラメータ $\left(\sum_n \alpha_{nGC} = 1 \right)$.

次に、政府消費部門のサービス財消費は、式(26a)の総サービス財消費に対しゾーン別消費量まで決定する。また、運輸サービスは、式(26a)の総運輸サービス消費に対しOD別消費までを決定する。それらは以下のように表される。

$$x_{nGC}^i = \frac{\alpha_{nGC}^i}{p_n^i} x_{nGC} \quad (26b)$$

$$x_{TGC}^{ki} = \frac{\alpha_{TGC}^{ki}}{p_T^{ki}} x_{TGC} \quad (26c)$$

ただし、 x_{nGC}^i, p_n^i : 政府消費部門のゾーン*i*のサービス財*n*の消費量とサービス財*n*の価格、 α_{nGC}^i : 分配パラメータ ($\sum_i \alpha_{nGC}^i = 1$)、 x_{TGC}^{ki}, p_T^{ki} : 政府消費部門のゾーン*k-i*間の運輸サービス消費量と運輸サービス価格、 α_{TGC}^{ki} : 分配パラメータ ($\sum_{k-i} \alpha_{TGC}^{ki} = 1$) .
 また、政府税収は以下により求められる。

$$\Phi_G = \tau_H (wT + rK) + \sum_j \sum_m \tau_m^j p_m^j c_m^j \quad (27)$$

一方、政府の公的投資部門は、公的投資に回された財源を、公的投資需要に充てることにより公共事業を実行する。公的投資部門の*n*財消費量も、公的投資の財源に対して一定比率で支出されるものとする。サービス財、運輸サービスの各消費量まで含めてまとめて以下に示す。

$$x_{nGI} = \frac{\alpha_{nGI}}{p_n} \delta_{GI} \Phi_G \quad (28a)$$

$$x_{nGI}^i = \frac{\alpha_{nGI}^i}{p_n^i} x_{nGI} \quad (28b)$$

$$x_{TGI}^{ki} = \frac{\alpha_{TGI}^{ki}}{p_T^{ki}} x_{nGI} \quad (28c)$$

ただし、 x_{nGI} : 政府投資部門の*n*財消費量、 α_{nGI} : 分配パラメータ ($\sum_n \alpha_{nGI} = 1$)、 x_{nGI}^i : 政府投資部門のゾーン*i*のサービス財*n*の消費量、 α_{nGI}^i : 分配パラメータ ($\sum_i \alpha_{nGI}^i = 1$)、 x_{TGI}^{ki} : 政府投資部門のゾーン*k-i*間の運輸サービス消費量、 α_{TGI}^{ki} : 分配パラメータ ($\sum_{k-i} \alpha_{TGI}^{ki} = 1$) .

民間投資部門は、家計貯蓄を財源としてそれらを民間投資需要に充てることにより民間投資を実行する。民間投資部門の*n*財消費量も、投資額に対して一定比率で支出されるものとする。サービス財、運輸サービスの各消費量まで含めてまとめて以下に示す。

$$x_{nl} = \frac{\alpha_{nl}}{p_n} [S_H] \quad (29a)$$

$$x_{nl}^i = \frac{\alpha_{nl}^i}{p_n^i} x_{nl} \quad (29b)$$

$$x_{Tl}^{ki} = \frac{\alpha_{Tl}^{ki}}{p_T^{ki}} x_{Tl} \quad (29c)$$

ただし、 x_{nl} : 民間投資部門の*n*財消費量、 α_{nl} : 分配パラメータ ($\sum_n \alpha_{nl} = 1$)、 x_{nl}^i : 民間投資部門のゾーン*i*のサービス財*n*の消費量、 α_{nl}^i : 分配パラメータ

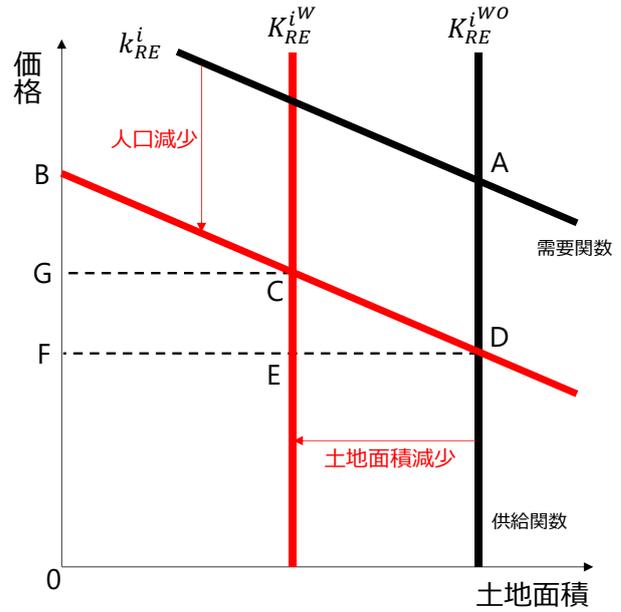


図-5 土地利用規制による土地供給面積の変化

($\sum_i \alpha_{nl}^i = 1$)、 x_{Tl}^{ki} : 民間投資部門のゾーン*k-i*間の運輸サービス消費量、 α_{Tl}^{ki} : 分配パラメータ ($\sum_{k-i} \alpha_{Tl}^{ki} = 1$)、 S_H : 家計貯蓄 (式(10b)より取得) .

(7) 市場均衡条件

本モデルの市場均衡条件式は以下のようになる。

*n*財市場 (農林水産業財、製造業財) :

$$y_n = \sum_i \left(\sum_m x_{nm}^i + x_{nH}^i \right) + x_{nGC} + x_{nGI} + x_{nl} \quad (30a)$$

*n*財市場 (サービス財) :

$$y_n^i = \sum_m x_{nm}^i + x_{nH}^i + x_{nGC}^i + x_{nGI}^i + x_{nl}^i \quad (30b)$$

運輸*T*市場 : $y_T^{ki} = \sum_m x_{Tm}^{ki} + x_{Tl}^{ki} + x_{TGC}^{ki} + x_{TGI}^{ki} + x_{Tl}^{ki}$ (30c)

労働市場 : $T - \sum_i l_H^i = \sum_i \left(\sum_m l_m^i + l_T^i \right)$ (30d)

資本市場 (除不動産資本) :

$$K = \sum_i \left(\sum_m k_m^i + \sum_T k_T^i \right) \quad (m : RE \text{を除く}) \quad (30e)$$

不動産資本市場 : $K_{RE}^i = k_{RE}^i$ (30f)

以上の市場均衡条件式より、農林水産業財と製造業財、労働、不動産資本を除く資本は地域全体の市場で清算され、サービス財、不動産資本はゾーンごと、そして運輸サービスは OD 別の各市場にて清算されることがわかる。

また、立地適正化計画の実行を考慮する際はゾーンごとの不動産資本供給量 K_{RE}^i を変更するものとした。

図-5は本研究における最適土地利用規制は、社会的厚生を最大化するようにどれだけ土地供給を減らすかを表

現したものである。点Aは政策実施前の需要関数 (k_{RE}^i)

と供給関数 (K_{RE}^{wo}) の均衡点である。まず立地適正化計画実施における急激な人口減少という背景があることから、人口減少が生じた場合、需要量が減少するため需要関数が減少する。需要量が減少し、土地供給量が不変の時の均衡点は点Dであり、このときの均衡価格は点Fである。

そこから立地適正化計画の実施によって土地利用規制を行うため、土地供給量を減少させていく。このとき、供給関数が K_{RE}^{wo} から K_{RE}^w に移動し、社会的厚生を最大化したときの均衡点が点Cである、このときの均衡価格は点Gである。

均衡点が点Dの状態は消費者余剰が ΔBDF であった状態に対し、政策を行ったことによる均衡点Cの状態は消費者余剰が ΔBCG まで減少することを表現している。このとき四角形GCEFは不動産資本を保有する家計の収入となることから、立地適正化計画の実施による損失は ΔCDE であり、本研究ではこれを評価可能にした。

(8) 便益定義

交通整備に対する便益を等価的偏差 (EV : Equivalent Variation) の概念に基づき定義する。式(13a)の左辺がゾーン*j*に居住しゾーン*i*に勤務する家計の支出水準を表すことから、便益 ev^{ij} は以下のように求められる。

$$ev^{ij} = p_V^{ijA} \left(u_H^{ijB} - u_H^{ijA} \right) \quad (31)$$

ただし、添字A,B : それぞれ整備なし、ありを表す。

ev^{ij} を勤務地*i*で合計すると、ゾーン*j*の地域帰着便益が得られる。

$$EV^j = \sum_i ev^{ij} \quad (32)$$

4. GGEUEモデルによる立地適正化計画の提案

(1) 対象地域

図-6は山梨県の甲府都市圏を表現している。図-1中の赤い印 (No.1~66) はセントロイドを表しており、これが甲府都市圏の各ゾーンとしている。青い印 (No.67~93) はノードを表している。

(2) データセットの作成

本研究での基本データセットは武藤ら⁹⁾が構築した一

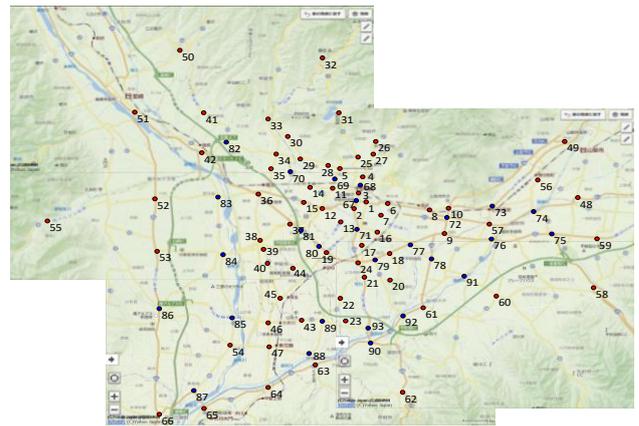


図-6 山梨県甲府都市圏

般均衡型 CUE モデルの基本データセットと同様であり、地域全体の地域内産業連関表であり、SCGE モデルで必要となる地域間産業連関表は必要としない。地域内産業連関表は、2016年に全国産業連関表とともに、各都道府県の産業連関表も公表されており、対象地域にもよるが、都道府県を対象地域とする場合には公表されている都道府県内産業連関表が直接利用できる。これより、本モデルはデータセットの作成も比較的容易といえよう。

本数値計算では、平成 23 年 (2011 年) の山梨県産業連関表¹⁰⁾を、を基に、対象地域全体の地域内産業連関表を作成した。データは各県の対象地域の家計人口数、産業別従業員人口数から、それぞれ対象地域の最終需要額、付加価値額そして生産額を按分により推計し、RAS調整計算によって中間投入額を推計した。そして、それらを愛知県の産業連関表に足し合わせることで、対象地域の地域内産業連関表を作成した。

また、本モデルでは運輸部門において自家輸送も考慮する。そのデータに関しては、2011年の山梨県の各産業連関表には自家輸送部門のデータが中間投入額のみであるが存在している。自家輸送部門の付加価値額データの推計については、まず平成 17 年に行われた山梨県パーソントリップ (PT) 調査の OD 交通量とゾーン間所要時間データから、乗用車および貨物車の走行時間を推計し、それに各車種の時間価値を乗じたものを自家輸送部門の労働投入額とした。なお、ゾーン間所要時間は交通量配分により推計されたリンク所要時間から求めている。また、資本投入額は全国の輸送機械の資産額を各県別車種別の自動車台数により按分して対象地域の値を推計した。以上より、自家輸送部門も考慮した対象地域全体の地域内産業連関表が完成する。

次に、作成した地域内産業連関表から社会会計表 (SAM : Social Accounting Matrix) を作成する。その際に必要なデータが家計の所得税と貯蓄額データである。家計の所得額は、内閣府から公表されている都道府県別経済財政モデルの中にある「データ推計結果 (税金)」の

データを用いた。家計貯蓄額は、家計所得から所得税と総支出額を差し引くことにより求められる。所得税は既にデータを得ており、他の家計所得、家計総支出額は産業連関データから取得できる。以上のデータより、基準年の家計貯蓄額を求めた。こうしてSAMが完成する。

次に、完成したSAMを用いてパラメータを推定する。本モデルは、CGEモデルをベースとしていることから、一般的にCGE分析で用いられるキャリブレーション手法を用いてパラメータが推定できる。その際の代替弾力性については、コブ・ダグラス型関数に近いものを想定することとし、いずれの値も0.9とした。ただし、これらの値を現実的に設定することについては今後の課題としたい。

次に、家計の立地選択モデル(式(7b))と、企業のゾーン別生産量決定モデル(式(1b))のパラメータ推定を行う。家計の立地選択モデルは、まず平成24年度の経済センサスの活動調査の第39表よりゾーン別の総従業員人口数を求め、平成17年に行われた山梨県PT調査結果の通勤ODデータを用いて、ゾーン*i*に勤務しゾーン*j*に居住する家計人口数を求めた。それに一人あたり所得額を乗じて地域別所得を求め、それを先に推定した家計の財需要関数に代入してゾーン別の家計総支出額を求めた。それらのデータからキャリブレーション手法によりパラメータが推定できる。なお、ここでは対象とするゾーンは市区町村をベースとしており、全体で111ゾーンとなっている。これは、交通量配分を行ったゾーンとは異なっているが、交通量配分結果からゾーン間所要時間を求める際は、交通量にて重みをとった平均値により市区町村をベースとしたゾーン間所要時間に変換した。一方、企業の地域別生産量決定モデルは、経済センサスの市区町村別の製造品出荷額データから、ゾーン別産業別生産額を求め、それよりパラメータ推定を行った。

以上より、ゾーン別に推計されるモデルも、キャリブレーション手法によりパラメータ推定を行うことができる。キャリブレーション手法とは、データを完全に再現できるようにパラメータを決定する方法¹⁹⁾であることから、本モデルでは、家計の立地分布や企業のゾーン別生産量も含めて、完全に現況再現がなされている。

(3) 外生的な不動産資本供給量変化の設定

立地適正化計画を提案するにあたり、本研究では3.(7)に示したように不動産資本供給量を変化させて計測を行った。不動産資本供給量を変化させ、1)各ゾーンの便益、家計人口数変化、従業員人口数変化、甲府都市圏全体の企業の生産額変化、2)1)における環境負荷排出量の変化、3)洪水被害の発生による地域別・産業別の生産量変化を計測した。

表-1 立地適正化計画における不動産資本供給量の設定

ゾーン	不動産資本供給量変化	ゾーン	不動産資本供給量変化	ゾーン	不動産資本供給量変化
1 富士川	-0.8%	22 堀之内	-1.5%	45 常永 常永駅	10.0%
2 相生	-0.9%	23 大岡	-1.0%	46 田高北部 小井川駅	10.0%
3 春日 甲府駅	10.0%	24 北新	-1.5%	47 田高南部 真花輪駅	10.0%
4 新府屋	-1.6%	25 相川	-1.0%	48 山梨南部	-3.3%
5 坂部	-2.0%	26 塚原	-0.9%	49 山梨北部 山梨市駅	10.0%
6 球美 善光寺駅	10.0%	27 麻打	-1.5%	50 山梨東部	-5.8%
7 東	-2.0%	28 千塚	-1.0%	51 斐崎西部 蓋崎駅	10.0%
8 里垣 善折駅	10.0%	29 羽黒	-1.3%	52 八田	-4.1%
9 玉蓮	-2.1%	30 千代田	-0.2%	53 白根	-6.3%
10 甲運	-1.1%	31 敷島北部	-0.2%	54 小笠原	-8.2%
11 穴切	-1.7%	32 敷島中北部	-0.3%	55 孝安	-4.2%
12 真川	-2.4%	33 敷島中部	-1.6%	56 春日居 春日居町駅	10.0%
13 石田	-1.9%	34 敷島南部	-0.9%	57 石和 石和温泉駅	10.0%
14 池田	-1.9%	35 竜王 竜王駅	10.0%	58 御坂	-1.9%
15 新田	-0.7%	36 高竹新田	-1.5%	59 一宮	-1.8%
16 湯田 南甲府駅	10.0%	37 藤原	-1.9%	60 八代	-1.6%
17 伊勢	-1.8%	38 西八幡	-1.7%	61 焼川	-1.2%
18 住吉	-0.9%	39 玉川	-0.9%	62 中道	-1.6%
19 国母	-3.0%	40 双葉北部	-1.7%	63 豊島	-0.9%
20 小瀬	-1.6%	41 双葉西部 蓋崎駅	10.0%	64 三珠 甲斐上野駅	10.0%
21 山城	-2.0%	42 玉穂	-3.9%	65 市川大門 市川大門駅	10.0%
22 大里	-2.7%	43 神原	-4.7%	66 増穂	-3.2%

表-2 ガソリン車における燃費および排出係数

	燃費 (km/L)	CO2排出係数 (kgCO2/L)
ガソリン車	12.5	2.322

a) 立地適正化計画における不動産資本供給量の設定

本研究では図-6の甲府都市圏にあるJR中央本線、JR身延線の各駅が存在するゾーンを立地適正化計画の核となる地域として設定し、それらの不動産資本供給量を10%増加させた。表-1中の橙色次はJR中央本線各駅、緑色字はJR身延線各駅を表現している。また、それ以外の地域については、甲府都市圏全体の不動産資本供給量は不変とし、そこから核となる地域の不動産資本供給量をそれぞれ10%増加させた分を減少させ、甲府都市圏全体で残った不動産資本供給量を核となる地域以外の地域に案分した。これらをまとめたものが表-1である。

b) 立地変化に伴う環境負荷排出量の算定

a)の施策により、都市機能が集約化されることでどの程度、環境負荷排出量が変化するか計測を行った。変化したOD交通量の総走行距離(km)を燃費(km/L)で除することで、総ガソリン量が求められる。それにCO2排出係数(kgCO2/L)を乗ずることで環境負荷排出量(kgCO2)が算出される。具体的な数値は武藤ら¹⁷⁾が算出しており、本研究ではそこで算出された数値を用いることにした(表-2)。

c) 洪水被害発生に伴う不動産資本供給量の設定

洪水被害の計測にあたり、洪水被害の想定としては、氾濫シミュレーションにより、山梨県内を流れる富士川が50年降雨により氾濫した際に不動産資本供給量がどのくらい減少したかを表現している。洪水被害計測においては、家屋被害・家庭用品・事業償却・農漁償却を不動産資本に値するとし、これらの被害額を各ゾーンの不動産資本供給量から差し引いたものを洪水被害有の不動産供給量と設定し、表-3にまとめた。

表-3 洪水被害における不動産資本供給量の設定

ゾーン	不動産資本供給量変化	ゾーン	不動産資本供給量変化	ゾーン	不動産資本供給量変化
1 富士川	0.0%	22 堀之内	-0.1%	45 常水	0.0%
2 相生	0.0%	23 大國	0.0%	46 田富北部	-0.3%
3 春日	0.0%	24 北新	0.0%	47 田富南部	-43.2%
4 新紺屋	0.0%	25 相川	0.0%	48 山梨南部	-1.3%
5 塩部	0.0%	26 塚原	0.0%	49 山梨北部	-2.6%
6 塚妻	0.0%	27 湯村	0.0%	50 韮崎東部	0.0%
7 東	0.0%	28 千塚	0.0%	51 韮崎西部	0.0%
8 里垣	0.0%	29 羽黒	0.0%	52 八田	0.0%
9 玉諸	0.0%	30 千代田	0.0%	53 白根	0.0%
10 甲運	0.0%	31 敷島北部	0.0%	54 小笠原	0.0%
11 穴切	0.0%	32 敷島中北部	0.0%	55 芦安	0.0%
12 貢川	0.0%	33 敷島中部	0.0%	56 春日居	0.0%
13 石田	0.0%	34 敷島南部	0.0%	57 石和	-13.2%
14 池田	0.0%	35 竜王	0.0%	58 御坂	-2.3%
15 新田	0.0%	36 富竹新田	0.0%	59 一宮	0.0%
16 湯田	0.0%	37 篠原	0.0%	60 八代	0.0%
17 伊勢	0.0%	39 西八幡	0.0%	61 境川	-0.6%
18 住吉	0.0%	40 玉川	0.0%	62 中道	-1.1%
19 国母	0.0%	41 双葉北部	0.0%	63 豊富	-1.6%
20 小瀬	0.0%	42 双葉西部	-24.2%	64 三珠	-21.2%
21 山城	0.0%	43 玉穂	-22.0%	65 市川大門	-90.0%
22 大里	0.0%	44 押原	0.0%	66 増穂	-0.2%

(4) 不動産資本供給量変化の設定による計測結果

a) 土地利用規制による波及的影響

施策によるゾーン別便益（図-7），家計人口および従業員人口変化（図-8），甲府都市圏全体の企業の生産額変化（図-9）を算出した。

ゾーン別便益は不動産資本供給量を増加させた地域には便益が発生しているが，その他の地域は逆に不動産資本供給量を減少させているため不便益が生じている。また，それに伴いほとんどの地域で不便益が発生しているため，甲府都市圏全体では，-350億円/年と不便益が生じたと考えられる。

家計人口は不動産資本供給量を増加に伴い増加した。それに対し，従業員人口は施策による人口の変化はほとんど見られなかった。これは本モデルの立地変化は家計のみを計測しており，企業の立地変化は考慮されていないためであると考えられる。本来不動産資本供給は家計にたいするものと企業に対するもので分けなければならぬため，本モデルの今後の課題とする。

甲府都市圏全体の企業の生産額変化では，核となる地域以外の地域では不動産資本供給量を減少させているため不動産サービスの生産額は大幅に減少した。また，業務系サービスの生産額が最も増加した。この結果を受け，特に業務系サービスをゾーン別でみると，各ゾーンで生産額が増加していることがわかる（図-10）。本研究では企業の生産額を詳細地域で可視化することができた。

b) 環境負荷排出量計測結果

施策により，甲府都市圏全体で-98.2kgCO₂もの環境負荷排出量を削減できることがわかった。特に，もともと交通量が多かった地域が，今回核となる地域に設定されたことにより自動車から公共交通への転換が起り，環境負荷排出量が削減されたと考えられる。

c) 洪水害発生による波及的影響

洪水被害の発生による地域別・産業別の生産量変化

を図-11に示した。富士川の氾濫により被害として，不動産資本供給量を大きく減少させたNo.65市川大門では各産業で大きく生産量が減少していることがわかる。しかし，その他のゾーンは被害が発生したにもかかわらず生産量が増加していることがわかる。これは，被害が発生して経済が均衡状態に達したとき，被害の発生により政府の税収が増加したことにより各産業の生産量が増加したと考えられる。

5. おわりに

本研究では，山梨県の甲府都市圏を対象とし，応用一般均衡型都市経済モデルを用いて一般均衡体系における立地適正化計画の都市集約化による環境負荷排出量の変化や経済的損失の計測を行った。都市の集約化によって環境負荷排出量を削減可能であるが，立地規制を行うことで地域全体で不便益が生じてしまうことがわかった。

同時に，現状の立地適正化計画は災害への配慮が不十分であることから，まずは氾濫により被害リスクの高い地域や氾濫による企業の生産行動の変化を計測した。

今後の課題として，今回の計測では不動産資本の供給を，家計および企業と一緒にしているとした。しかし，不動産資本供給は家計および企業に対しそれぞれでされるものであるため，家計に対する不動産資本供給と企業に対する不動産資本供給とを分けて計測を行う。

また，今回の結果では対象地域全体で不便益になるという結果になってしまったため，様々な外部性を考慮した上で，社会的厚生を最大化するような立地適正化計画案を提示していく。

謝辞：本研究は，科学研究費補助金・基盤研究(C)(課題番号18K04387)の研究成果の一部である。ここに記して感謝の意を表する次第である。

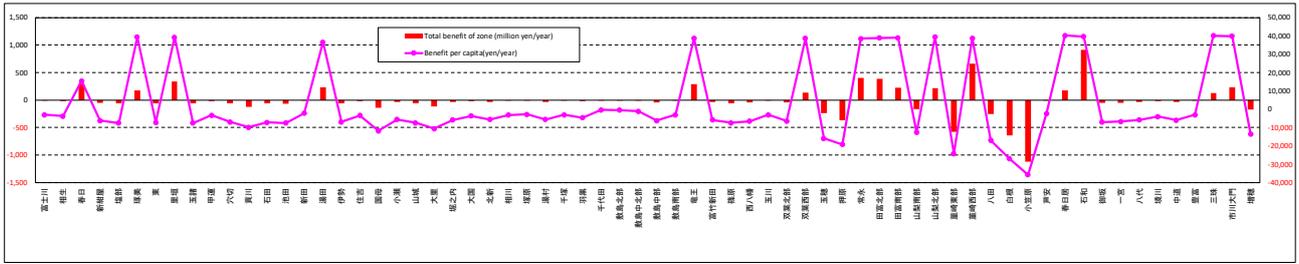


図-7 施策によるゾーン別便益 (百万円/年)

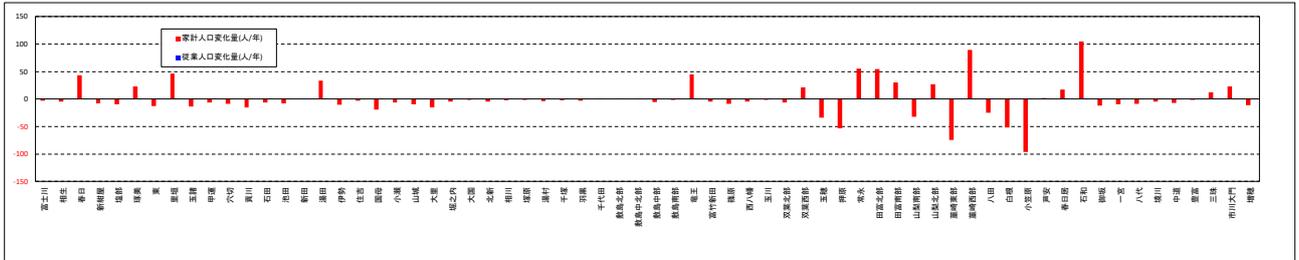


図-8 施策による家計人口および従業人口変化 (人)

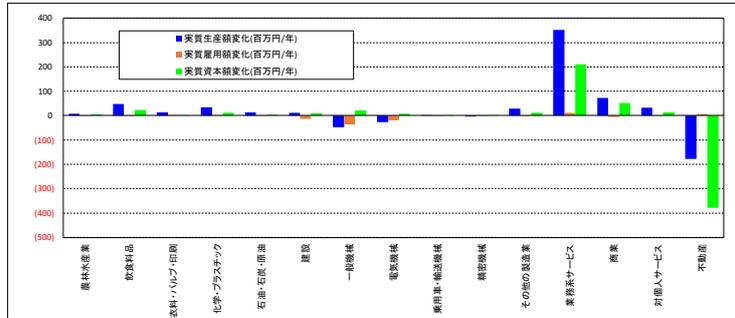


図-9 施策による実質生産額変化, 実質雇用額変化, 実質資本額 (百万円/年)

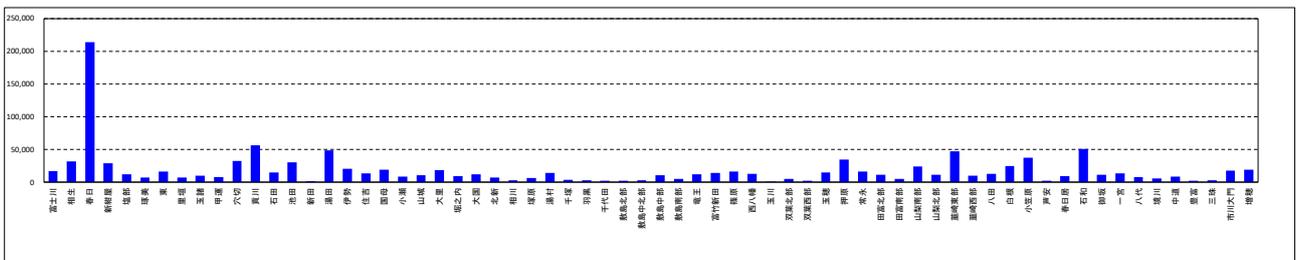


図-10 施策による業務系サービス系生産額変化 (円/年)

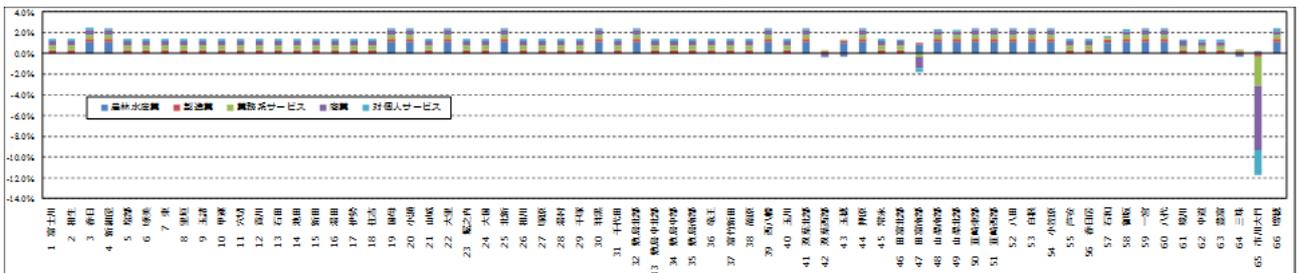


図-11 洪水被害による地域別・産業別生産量変化率

付録

以下が企業の行動モデルの定式化である。

(1) 合成中間財, 不動産, 合成生産要素の投入

式(4)~(6)に示したとおりである。

(2) 中間財・貨物合成財, サービス・旅客合成財投入

・最適化問題

$$q_{Zm}^i z_m^i = \min_{z_{FZm}^i, z_{PSm}^i} [q_{FZm}^i z_{FZm}^i + q_{PSm}^i z_{PSm}^i] \quad (A1a)$$

$$\text{s.t. } z_m^i = \gamma_{FPm}^i \left[\alpha_{FZm}^i \left\{ \beta_{FZm}^i z_{FZm}^i \right\}^{\frac{\sigma_{FPm}^i - 1}{\sigma_{FPm}^i}} + 1 - \alpha_{FZm}^i \left\{ (1 - \beta_{FZm}^i) z_{PSm}^i \right\}^{\frac{\sigma_{FPm}^i - 1}{\sigma_{FPm}^i}} \right]^{\frac{\sigma_{FPm}^i}{\sigma_{FPm}^i - 1}} \quad (A1b)$$

・需要関数

$$z_{FZm}^i = \frac{1}{\gamma_{FPm}^i (\beta_{FZm}^i)^{1 - \sigma_{FPm}^i} \left(\frac{\alpha_{FZm}^i}{q_{FZm}^i} \right)^{\sigma_{FPm}^i}} \Psi_{FPm}^i \frac{\sigma_{FPm}^i}{1 - \sigma_{FPm}^i} \cdot z_m^i \quad (A2a)$$

$$z_{PSm}^i = \frac{1}{\gamma_{FPm}^i (1 - \beta_{FZm}^i)^{1 - \sigma_{FPm}^i} \left(\frac{1 - \alpha_{FZm}^i}{q_{PSm}^i} \right)^{\sigma_{FPm}^i}} \Psi_{FPm}^i \frac{\sigma_{FPm}^i}{1 - \sigma_{FPm}^i} \cdot z_m^i \quad (A2b)$$

$$\text{ただし, } \Psi_{FPm}^i = (\alpha_{FZm}^i)^{\sigma_{FPm}^i} \left(\frac{q_{FZm}^i}{\beta_{FZm}^i} \right)^{1 - \sigma_{FPm}^i} + (1 - \alpha_{FZm}^i)^{\sigma_{FPm}^i} \left(\frac{q_{PSm}^i}{1 - \beta_{FZm}^i} \right)^{1 - \sigma_{FPm}^i}$$

・価格式

$$q_{Zm}^i = \frac{1}{\gamma_{FPm}^i} \Psi_{FPm}^i \frac{1}{1 - \sigma_{FPm}^i} \quad (A3)$$

ただし, z_{FZm}^i, q_{FZm}^i : 中間財・貨物合成財の投入量とその価格, z_{PSm}^i, q_{PSm}^i : サービス・旅客合成財の投入量とその価格, $\alpha_{FZm}^i, \beta_{FZm}^i$: 分配パラメータ, γ_{FPm}^i : 効率パラメータ, σ_{FPm}^i : 代替弾力性パラメータ。

(3) 合成中間・サービス財, 貨物運輸の投入

・最適化問題

$$q_{Zm}^i z_{FZm}^i = \min_{z_{Zm}^i, z_{Fm}^i} [q_{Zm}^i z_{Zm}^i + q_{Fm}^i z_{Fm}^i] \quad (A4a)$$

$$\text{s.t. } z_{FZm}^i = \gamma_{Fm}^i \left[(1 - \alpha_{Fm}^i) \left\{ (1 - \beta_{Fm}^i) z_{Zm}^i \right\}^{\frac{\sigma_{Fm}^i - 1}{\sigma_{Fm}^i}} + \alpha_{Fm}^i \left\{ \beta_{Fm}^i z_{Fm}^i \right\}^{\frac{\sigma_{Fm}^i - 1}{\sigma_{Fm}^i}} \right]^{\frac{\sigma_{Fm}^i}{\sigma_{Fm}^i - 1}} \quad (A4b)$$

・需要関数

$$z_{Zm}^i = \frac{1}{\gamma_{Fm}^i (1 - \beta_{Fm}^i)^{1 - \sigma_{Fm}^i} \left(\frac{1 - \alpha_{Fm}^i}{q_{Zm}^i} \right)^{\sigma_{Fm}^i}} \Psi_{Fm}^i \frac{\sigma_{Fm}^i}{1 - \sigma_{Fm}^i} \cdot z_{FZm}^i \quad (A5a)$$

$$z_{Fm}^i = \frac{1}{\gamma_{Fm}^i (\beta_{Fm}^i)^{1 - \sigma_{Fm}^i} \left(\frac{\alpha_{Fm}^i}{q_{Fm}^i} \right)^{\sigma_{Fm}^i}} \Psi_{Fm}^i \frac{\sigma_{Fm}^i}{1 - \sigma_{Fm}^i} \cdot z_{FZm}^i \quad (A5b)$$

$$\text{ただし, } \Psi_{Fm}^i = (1 - \alpha_{Fm}^i)^{\sigma_{Fm}^i} \left(\frac{q_{Zm}^i}{1 - \beta_{Fm}^i} \right)^{1 - \sigma_{Fm}^i} + (\alpha_{Fm}^i)^{\sigma_{Fm}^i} \left(\frac{q_{Fm}^i}{\beta_{Fm}^i} \right)^{1 - \sigma_{Fm}^i}$$

・価格式

$$q_{Fm}^i = \frac{1}{\gamma_{Fm}^i} \Psi_{Fm}^i \frac{1}{1 - \sigma_{Fm}^i} \quad (A6)$$

ただし, z_{Zm}^i, q_{Zm}^i : 合成中間財の投入量とその価格, z_{Fm}^i, q_{Fm}^i : 貨物運輸の投入量とその価格, $\alpha_{Fm}^i, \beta_{Fm}^i$: 分配パラメータ, γ_{Fm}^i : 効率パラメータ, σ_{Fm}^i : 代替弾力性パラメータ。

(4) 中間財 n の投入

(図-1では農林水産業財と製造業財)

・最適化問題

$$q_{Zm}^i z_{Zm}^i = \min_{x_{nm}^i} \sum_n p_n x_{nm}^i \quad (A7a)$$

$$\text{s.t. } z_{Zm}^i = \gamma_{Zm}^i \left[\sum_n \alpha_{nm}^i \left\{ \beta_{nm}^i x_{nm}^i \right\}^{\frac{\sigma_{Zm}^i - 1}{\sigma_{Zm}^i}} \right]^{\frac{\sigma_{Zm}^i}{\sigma_{Zm}^i - 1}} \quad (A7b)$$

・需要関数

$$x_{nm}^i = \frac{1}{\gamma_{Zm}^i (\beta_{nm}^i)^{1 - \sigma_{Zm}^i} \left(\frac{\alpha_{nm}^i}{p_n} \right)^{\sigma_{Zm}^i}} \Psi_{Zm}^i \frac{\sigma_{Zm}^i}{1 - \sigma_{Zm}^i} \cdot z_{Zm}^i \quad (A8)$$

$$\text{ただし, } \Psi_{Zm}^i = \sum_n (\alpha_{nm}^i)^{\sigma_{Zm}^i} \left(\frac{p_n}{\beta_{nm}^i} \right)^{1 - \sigma_{Zm}^i}$$

・価格式

$$q_{Zm}^i = \frac{1}{\gamma_{Zm}^i} \Psi_{Zm}^i \frac{1}{1 - \sigma_{Zm}^i} \quad (A9)$$

ただし, x_{nm}^i, p_n : 中間財 n の投入量と n 財価格, $\alpha_{nm}^i, \beta_{nm}^i$: 分配パラメータ ($\sum_n \alpha_{nm}^i = 1, \sum_n \beta_{nm}^i = 1$), γ_{Zm}^i : 効率パラメータ, σ_{Zm}^i : 代替弾力性パラメータ。

(5) 貨物運輸の地域投入

- ・最適化問題

$$q_{Fm}^i z_{Fm}^i = \min_{x_{Fm}^{ki}} \sum_k p_F^{ki} x_{Fm}^{ki} \quad (A10a)$$

$$\text{s.t. } z_{Fm}^i = \gamma_{Fm}^{ki} \left[\sum_k \alpha_{Fm}^{ki} \left\{ \beta_{Fm}^{ki} x_{Fm}^{ki} \right\}^{\frac{\sigma_{Fm}^{ki}-1}{\sigma_{Fm}^{ki}}} \right]^{\frac{\sigma_{Fm}^{ki}}{\sigma_{Fm}^{ki}-1}} \quad (A10b)$$

- ・需要関数

$$x_{Fm}^{ki} = \frac{1}{\gamma_{Fm}^{ki} (\beta_{Fm}^{ki})^{1-\sigma_{Fm}^{ki}}} \left(\frac{\alpha_{Fm}^{ki}}{p_F^{ki}} \right)^{\sigma_{Fm}^{ki}} \Psi_{Fm}^{ki} \frac{\sigma_{Fm}^{ki}}{1-\sigma_{Fm}^{ki}} \cdot z_{Fm}^i \quad (A11)$$

$$\text{ただし, } \Psi_{Fm}^{ki} = \sum_k (\alpha_{Fm}^{ki})^{\sigma_{Fm}^{ki}} \left(\frac{p_F^{ki}}{\beta_{Fm}^{ki}} \right)^{1-\sigma_{Fm}^{ki}}.$$

- ・価格式

$$q_{Fm}^i = \frac{1}{\gamma_{Fm}^{ki}} \Psi_{Fm}^{ki} \frac{1}{1-\sigma_{Fm}^{ki}} \quad (A12)$$

ただし, x_{Fm}^{ki}, p_F^{ki} : ゾーン*i*におけるゾーン*k*からの貨物運輸サービス投入量とゾーン*k*-間輸送の貨物運輸価格, $\alpha_{Fm}^{ki}, \beta_{Fm}^{ki}$: 分配パラメータ ($\sum_i \alpha_{Fm}^{ki} = 1, \sum_i \beta_{Fm}^{ki} = 1$), γ_{Fm}^{ki} : 効率パラメータ, σ_{Fm}^{ki} : 代替弾力性パラメータ.

(6) サービス・旅客合成財の地域投入

- ・最適化問題

$$q_{PSm}^i z_{PSm}^i = \min_{z_{PSm}^{ki}} \sum_k q_{Pm}^{ki} z_{Pm}^{ki} \quad (A13a)$$

$$\text{s.t. } z_{PSm}^i = \gamma_{PSm}^i \left[\sum_k \alpha_{Pm}^{ki} \left\{ \beta_{Pm}^{ki} z_{Pm}^{ki} \right\}^{\frac{\sigma_{PSm}^i-1}{\sigma_{PSm}^i}} \right]^{\frac{\sigma_{PSm}^i}{\sigma_{PSm}^i-1}} \quad (A13b)$$

- ・需要関数

$$z_{Pm}^{ki} = \frac{1}{\gamma_{PSm}^i (\beta_{Pm}^{ki})^{1-\sigma_{PSm}^i}} \left(\frac{\alpha_{Pm}^{ki}}{q_{Pm}^{ki}} \right)^{\sigma_{PSm}^i} \Psi_{PSm}^i \frac{\sigma_{PSm}^i}{1-\sigma_{PSm}^i} \cdot z_{PSm}^i \quad (A14)$$

$$\text{ただし, } \Psi_{PSm}^i = \sum_k (\alpha_{Pm}^{ki})^{\sigma_{PSm}^i} \left(\frac{q_{Pm}^{ki}}{\beta_{Pm}^{ki}} \right)^{1-\sigma_{PSm}^i}.$$

- ・価格式

$$q_{PSm}^i = \frac{1}{\gamma_{PSm}^i} \Psi_{PSm}^i \frac{1}{1-\sigma_{PSm}^i} \quad (A15)$$

ただし, z_{Pm}^{ki}, q_{Pm}^{ki} : ゾーン*i*におけるゾーン*k*からのサービス・旅客合成財投入量とその価格, $\alpha_{Pm}^{ki}, \beta_{Pm}^{ki}$: 分配パラメータ ($\sum_i \alpha_{Pm}^{ki} = 1, \sum_i \beta_{Pm}^{ki} = 1$), γ_{PSm}^i : 効率

パラメータ, σ_{PSm}^i : 代替弾力性パラメータ.

(7) 合成サービス財, 旅客運輸の投入

- ・最適化問題

$$q_{Pm}^{ki} z_{Pm}^{ki} = \min_{z_{Sm}^i, x_{Pm}^{ki}} \left[q_{Sm}^{ki} z_{Sm}^{ki} + p_P^{ki} x_{Pm}^{ki} \right] \quad (A16a)$$

$$\text{s.t. } z_{Pm}^{ki} = \gamma_{Pm}^{ki} \left[\begin{aligned} & (1-\alpha_{Pm}^{ki}) \left\{ (1-\beta_{Pm}^{ki}) z_{Sm}^{ki} \right\}^{\frac{\sigma_{Pm}^{ki}-1}{\sigma_{Pm}^{ki}}} \\ & + \alpha_{Pm}^{ki} \left\{ \beta_{Pm}^{ki} x_{Pm}^{ki} \right\}^{\frac{\sigma_{Pm}^{ki}-1}{\sigma_{Pm}^{ki}}} \end{aligned} \right]^{\frac{\sigma_{Pm}^{ki}}{\sigma_{Pm}^{ki}-1}} \quad (A16b)$$

- ・需要関数

$$z_{Sm}^{ki} = \frac{1}{\gamma_{Pm}^{ki} (1-\beta_{Pm}^{ki})^{1-\sigma_{Pm}^{ki}}} \left(\frac{1-\alpha_{Pm}^{ki}}{q_{Sm}^{ki}} \right)^{\sigma_{Pm}^{ki}} \Psi_{Pm}^{ki} \frac{\sigma_{Pm}^{ki}}{1-\sigma_{Pm}^{ki}} \cdot z_{Pm}^{ki} \quad (A17a)$$

$$x_{Pm}^{ki} = \frac{1}{\gamma_{Pm}^{ki} (\beta_{Pm}^{ki})^{1-\sigma_{Pm}^{ki}}} \left(\frac{\alpha_{Pm}^{ki}}{p_P^{ki}} \right)^{\sigma_{Pm}^{ki}} \Psi_{Pm}^{ki} \frac{\sigma_{Pm}^{ki}}{1-\sigma_{Pm}^{ki}} \cdot z_{Pm}^{ki} \quad (A17b)$$

$$\text{ただし, } \Psi_{Pm}^{ki} = (1-\alpha_{Pm}^{ki})^{\sigma_{Pm}^{ki}} \left(\frac{q_{Sm}^{ki}}{1-\beta_{Pm}^{ki}} \right)^{1-\sigma_{Pm}^{ki}} + (\alpha_{Pm}^{ki})^{\sigma_{Pm}^{ki}} \left(\frac{p_P^{ki}}{\beta_{Pm}^{ki}} \right)^{1-\sigma_{Pm}^{ki}}.$$

- ・価格式

$$q_{Pm}^{ki} = \frac{1}{\gamma_{Pm}^{ki}} \Psi_{Pm}^{ki} \frac{1}{1-\sigma_{Pm}^{ki}} \quad (A18)$$

ただし, z_{Sm}^{ki}, q_{Sm}^{ki} : 合成サービス財の投入量とその価格, x_{Pm}^{ki}, p_P^{ki} : 旅客運輸の投入量とゾーン*k*-間の旅客運輸価格, $\alpha_{Pm}^{ki}, \beta_{Pm}^{ki}$: 分配パラメータ, γ_{Pm}^{ki} : 効率パラメータ, σ_{Pm}^{ki} : 代替弾力性パラメータ.

(8) サービス財*n*の投入

(図-1では業務サービス, 商業, 対個人サービス)

- ・最適化問題

$$q_{Sm}^{ki} z_{Sm}^{ki} = \min_{x_{nm}^k} \sum_n p_n^k x_{nm}^{ki} \quad (A19a)$$

$$\text{s.t. } z_{Sm}^{ki} = \gamma_{Sm}^{ki} \left[\sum_n \alpha_{nm}^{ki} \left\{ \beta_{nm}^{ki} x_{nm}^{ki} \right\}^{\frac{\sigma_{Sm}^{ki}-1}{\sigma_{Sm}^{ki}}} \right]^{\frac{\sigma_{Sm}^{ki}}{\sigma_{Sm}^{ki}-1}} \quad (A19b)$$

- ・需要関数

$$x_{nm}^{ki} = \frac{1}{\gamma_{Sm}^{ki} (\beta_{nm}^{ki})^{1-\sigma_{Sm}^{ki}}} \left(\frac{\alpha_{nm}^{ki}}{p_n^k} \right)^{\sigma_{Sm}^{ki}} \Psi_{Sm}^{kj} \frac{\sigma_{Sm}^{ki}}{1-\sigma_{Sm}^{ki}} \cdot z_{Sm}^{ki} \quad (A20)$$

$$\text{ただし, } \Psi_{Sm}^{ki} = \sum_n (\alpha_{nm}^{ki})^{\sigma_{Sm}^{ki}} \left(\frac{p_n^k}{\beta_{nm}^{ki}} \right)^{1-\sigma_{Sm}^{ki}}.$$

・価格式

$$q_{Sm}^{ki} = \frac{1}{\gamma_{Sm}^{ki}} \Psi_{Sm}^{ki} \frac{1}{1-\sigma_{Sm}^{ki}} \quad (A21)$$

ただし, x_{nm}^{ki}, p_n^k : サービス財 n の投入量とゾーン k の n 財価格, $\alpha_{nm}^{ki}, \beta_{nm}^{ki}$: 分配パラメータ ($\sum_n \alpha_{nm}^{ki} = 1, \sum_n \beta_{nm}^{ki} = 1$), γ_{Sm}^{ki} : 効率パラメータ, σ_{Sm}^{ki} : 代替弾力性パラメータ.

(9) 労働, 資本の投入

・最適化問題

$$p_m^i c f_m^i = \min_{l_m^i, k_m^i} [w l_m^i + r k_m^i] \quad (A21a)$$

$$\text{s.t. } c f_m^i = \gamma_{CFm}^i \left[\alpha_{Lm}^i \left\{ \beta_{Lm}^i l_m^i \right\}^{\frac{\sigma_{CFm}^i}{\sigma_{CFm}^i - 1}} + (1 - \alpha_{Lm}^i) \left\{ (1 - \beta_{Lm}^i) k_m^i \right\}^{\frac{\sigma_{CFm}^i}{\sigma_{CFm}^i - 1}} \right]^{\frac{\sigma_{CFm}^i}{\sigma_{CFm}^i - 1}} \quad (A21b)$$

・需要関数

$$l_m^i = \frac{1}{\gamma_{CFm}^i (\beta_{Lm}^i)^{1-\sigma_{CFm}^i}} \left(\frac{\alpha_{Lm}^i}{w} \right)^{\sigma_{CFm}^i} \Psi_{CFm}^i \frac{\sigma_{CFm}^i}{1-\sigma_{CFm}^i} \cdot c f_m^i \quad (A22a)$$

$$k_m^i = \frac{1}{\gamma_{CFm}^i (1-\beta_{Lm}^i)^{1-\sigma_{CFm}^i}} \left(\frac{1-\alpha_{Lm}^i}{r} \right)^{\sigma_{CFm}^i} \Psi_{CFm}^i \frac{\sigma_{CFm}^i}{1-\sigma_{CFm}^i} \cdot c f_m^i \quad (A22b)$$

ただし,

$$\Psi_{CFm}^i = (\alpha_{Lm}^i)^{\sigma_{CFm}^i} \left(\frac{w}{\beta_{Lm}^i} \right)^{1-\sigma_{CFm}^i} + (1-\alpha_{Lm}^i)^{\sigma_{CFm}^i} \left(\frac{r}{1-\beta_{Lm}^i} \right)^{1-\sigma_{CFm}^i} .$$

・価格式

$$p f_m^i = \frac{1}{\gamma_{CFm}^i} \Psi_{CFm}^i \frac{1}{1-\sigma_{CFm}^i} \quad (A23)$$

ただし, l_m^i, k_m^i : ゾーン i の m 企業の労働投入量と資本投入量, w, r : 賃金率と利子率 (これらは都市圏全体の市場にて清算される), $\alpha_{Lm}^i, \beta_{Lm}^i$: 分配パラメータ, γ_{CFm}^i : 効率パラメータ, σ_{CFm}^i : 代替弾力性パラメータ.

参考文献

- 1) 国土交通省：みんなで進める，コンパクトなまちづくり～いつまでも暮らしやすいまちへ～ コンパク

- トシティ・プラス・ネットワーク，「都市再生特別措置法」に基づく立地適正化計画がいよいよパンフレット，国土交通省，2014.
- 2) 金本良嗣，藤原徹：プログレッシブ経済学シリーズ 都市経済学第 2 版，東洋経済新報社，第 8 章 土地利用政策，pp. 281-330，2016.
- 3) 河野達仁，金子貴之，森杉壽芳：最適土地利用密度規制の設計に関する基礎的研究，土木学会論文集 No.695/IV-54, (2002) 77-90.
- 4) 小林潔司：災害リスクとそのマネジメント，防災の経済分析，多々納裕一，高木朗義著，リスクマネジメントの施策と評価，勁草書房，第 1 章，pp. 3-21，2005.
- 5) 武藤慎一，宮下光宏，右近崇，水谷洋輔，猪狩祥平：都市交通整備評価のための一般均衡型 CUE モデルの開発，土木学会論文集 D3 (土木計画学)，Vol.73, No.5, pp. I_163-I_181，2017.
- 6) 国土交通省都市局都市計画課：立地適正化計画作成の手引き (案)，国土交通省，2015.
- 7) Christopher, B.F., R.B. Vicente, J.D. David, J.M. Katharine, D.M. Michael : Climate Change 2014 Impacts, Adaptation, and Vulnerability Part A: Global and Sectoral Aspects, Cambridge University Press, 2014.
- 8) 地球温暖化対策推進本部：日本の約束草案，内閣官房，2015.
- 9) 国土交通省：社会インフラの維持管理の現状と課題，国土交通省，2017.
- 10) 水谷文俊，中山徳良，田中智泰：コンパクトシティ評価のための都市経済モデル，国民経済雑誌，Vol.203, No.3, pp.19-37，2011.
- 11) 高橋美保子，出口敦：コンパクトシティ形成効果の費用便益評価システムに関する研究，都市計画論文集，No. 42-3，2007.
- 12) 竹間美夏，佐藤徹治：立地適正化計画に基づく居住誘導施策検討のための都市内人口分布推計手法の開発—愛知県豊橋市を対象として—，都市計画論文集，Vol.52, No.3，2017.
- 13) 河野達仁，森田有一：最適内容積規制と用途規制：各用途および用途間に発生する外部不経済の適正化，土木計画学研究・論文集，Vol.26, No.1, pp.67-76，2009.
- 14) 秋山孝正：持続可能社会を目指した道路交通政策に関する実証的分析，日交研シリーズ A-691，日本交通政策研究会，2017.
- 15) 細江宣裕，我澤賢之，橋本日出男：応用一般均衡モデリング プログラムからシミュレーションまで，東京大学出版会，2004.
- 16) 森杉壽芳：SCGE モデルによる道路整備効果計測と効果の便益帰着表による整理，日交研シリーズ A-578，日本交通政策研究会，2013.
- 17) 山梨県県民生活部統計調査課：平成 23 年 (2011 年) 山梨県産業連関表，山梨県，2016.

(2018. 4. 27 受付)