

既成市街地を対象とした詳細土地利用マイクロシミュレーションシステムの構築*

A Micro-simulation System for the Lot-Based Detailed Land-use model in an Urbanized Area*

杉木直**・大橋啓造***・宮本和明****

By Nao SUGIKI・Keizou OHASHI・Kazuaki MIYAMOTO

1. はじめに

既成市街地においては、狭小な敷地や前面道路幅員による容積率上限のために十分な建物の高層利用が進んでおらず、土地の有効利用が図られていない場合が多い。都市の郊外化抑制およびコンパクトシティの形成の視点からも、既成市街地の再生は都市計画上の重要課題である。従って、関連する土地利用規制や税政等を検討し、これらの施策の効果を詳細な敷地レベルの土地利用分布の予測のもとで評価する必要があるが、従来と比較的大きなゾーンを対象とした均衡分析ではその表現は困難であった。また、比較的移動が容易な立地主体に対して、建物ストックは不可逆性が高いため、詳細な土地利用レベルでは、建物が存在していながらも利用がされていない空き家、空室などが存在している。しかし、このような床の需給不均衡状態の形成過程は十分に明らかにされておらず、その予測も困難である。これらに対して、個々の主体の行動を記述しその積み上げによって全体の動向を表現するマイクロシミュレーションは、分析の詳細化、多様な属性および主体間相互作用の考慮、不均衡状態の表現可能性に対して有効である。土地利用 - 交通モデルを対象としたマイクロシミュレーションの適用は、Waddell¹⁾、Simmonds²⁾、Huntら³⁾によって行われているが、いずれも立地の対象は空間的に集計化されたゾーンやメッシュなどであり、敷地レベルへの適用はなされていない。一方、敷地レベルの建物分布予測を対象とした研究としては、柿本ら⁴⁾、Hammadら⁵⁾、富田ら⁶⁾によるものがあり、一部マクロシミュレーションの適用もなされているが、これらにおいては土

地の高度利用への移行過程において顕著である敷地間の統合が記述されていない。敷地統合については林ら⁷⁾によってマイクロシミュレーションによるモデル化が試みられているが、特定区域における統計的な統合確率を用いるにとどまっており、将来予測に対しては検討の余地が残されている。

以上を踏まえ本研究では、土地区画統合を含めた建物分布の変動を予測し、かつそれらに対する立地主体の入居分布から床レベルの需給不均衡状態を表現する、包括的な詳細土地利用マイクロシミュレーションシステムを構築することを目的としている。本稿では、モデルの詳細設計、および地理情報システム(GIS)をベースとした分析システムの概要を示す。シミュレーションの実現においては、統合による敷地形状の変更を随時データベースに反映させる必要があるため、システムはこのような空間分析単位の変容性に対応したデータベース更新機能を持つものとして設計される。

2. 詳細土地利用マイクロシミュレーションモデルの構築

(1) モデルの構造と特徴

モデルの構造を図1に示す。本研究のモデルは、経年的なゾーン単位の建物タイプ別立地主体量と与件とし、敷地レベルにおける現況の土地利用分布に対して敷地統合サブモデル、除却サブモデル、建設サブモデル、主体立地サブモデルを順次操作し、次期の主体立地分布、敷地形状分布、建物分布について準動的に1年ごとの予測を行うものである。これらは、筆者らがこれまで取り組んできた詳細土地利用マイクロシミュレーションモデル⁸⁾を基本としているが、以下の点において異なる。

1) 外生的な立地主体量の設定

本研究のモデルは、ゾーンレベルの立地分析モデルによって算出された集計的な立地主体量が外生的に与えられることを前提として、区画レベルでの現実的な建物分布および床ベースの立地主体分布を表

*キーワード：土地利用，市街地整備，GIS，都市計画

**正員，修(情報)，群馬大学工学部建設工学科

(〒376-8515 群馬県桐生市天神町一丁目5番1号，

TEL0277-30-1652, FAX0277-30-1601,

E-mail:sugiki@ce.gunma-u.ac.jp)

***学生員，群馬大学工学部建設工学科

****フェロー，工博，東北大学東北アジア研究センター

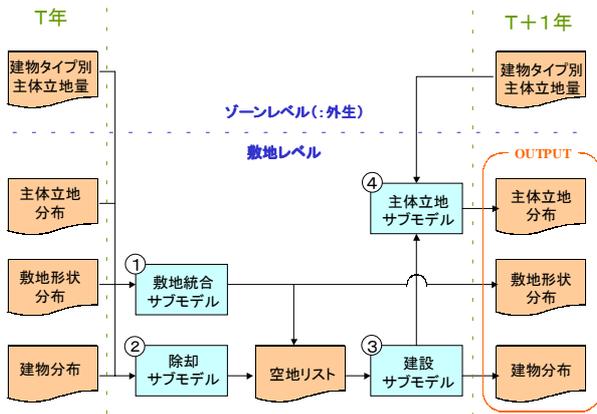


図1 モデル構造

現する機能を持つものであり、下位的なモデルとして位置づけられる。

2)建物レベルでの立地主体分布の表現

詳細土地利用を対象とした既存研究では、建物分布すなわち床供給主体側の行動のみが対象とされてきたが、需要側の行動である立地主体の各建物への入居状況を含めたモデル化により、空室、空き家といった床レベルでの不均衡状態を表現する。これは、需要増に伴う建物更新の促進のみならず、リセッション状態での不可逆的な建物ストックの影響をシミュレートすることを目的としたものである。

3)分析期間の詳細化

従来モデルは5年を1期とした準動学的分析であったが、時間軸に対してより詳細な1年単位の分析期間の設定を行う。外生的な立地主体量を与える上位のゾーンモデルについても、マイクロシミュレーションモデルの発展により、1年単位の分析期間の設定は現実的なものとなっている。

4)建物コーホートの考慮

建物の老朽化を考慮していないことが、既存モデルの再現性を低下させる要因となっていた。モデル化においては、後述の住宅地図を用いて作成された建物コーホートを考慮し、建物ストックの老朽化とその利用価値の逓減を表現する。

5)除却・建設モデルの分離

これまで、現状の建物の保持を次期の建物更新に対する1選択肢として記述してきたが、分析期間の詳細化に伴い、遷移的な土地利用として生じる空地の生成過程をより明示的に表現するため、建物を除却し空地が生成される過程と、空地に新規の建物を建設する過程を分離してモデル化する。

(2)各サブモデルの機能と定式化

各サブモデルにおいては、記述される行動の選択確率に対して、モンテカルロ法を用いたマイクロシミュレーションを実行する。以下、各サブモデルの機能と定式化について示す。

(a)地価および床地代の定義

まず、建物タイプ k での立地者が敷地 i に立地する場合の単位面積あたり立地価値を次式で定義する。

$$b_{ki} = \alpha_0 + \sum \alpha_1 X_i + \sum_k \alpha_2 N_{ki} \quad (1)$$

X_i : 土地条件ベクトル $\alpha_0 \sim \alpha_2$: パラメータ

N_{ki} : 敷地 i の周辺における建物 k の立地分布

ここで、第3項は集積選好性および用途間相互作用を表現している。敷地 i の地価 LP_i はこれらのログサム期待価値として式(2)で表される。

$$LP_i = \frac{1}{\phi} \ln \sum_k \exp \phi b_{ki} \quad (2)$$

ϕ : パラメータ

また、立地者のタイプ k の建物に対する床地代の支払い意志額は、式(1)に建物コーホートによる老朽化を考慮して次式で表現されるものとする。

$$b'_{ki} = b_{ki} + \alpha_3 BY_{ki} \quad (3)$$

BY_{ki} : 築年数 α_3 : パラメータ

各期首において、各敷地 i の保有者は次期の各建物タイプ k に対する単位床あたり床地代を次式のように決定するものと仮定する。

$$R_{ik} = b'_{ki} + \alpha_4 VFR_{ik}^T + \alpha_5 TDFR_k^{T+1} \quad (4)$$

VFR_{ik} : 敷地 i における前期建物 k^T の空床率

$TDFR_k^{T+1}$: 対象ゾーン全域の次期の需要超過率

式(4)は、建物供給者による床需要に対する次期床地代の調整を表すものである。需要超過率 $TDFR_k^{T+1}$ は、前期のゾーン全域の空床量 TVF_k^T および次期の床需要量 TDF_k^{T+1} を用いて次式で定義される。

$$TDFR_k^{T+1} = \frac{TDF_k^{T+1} - TVF_k^T}{TDF_k^{T+1}} \quad (5)$$

また、新規に建設する建物については $BY_{ki} = 0$ 、 $VFR_{ik}^T = 0$ である。

(b)敷地統合サブモデル

敷地統合サブモデルでは、隣接した2敷地が統合するか否かを判定する。互いに隣接する敷地AおよびBが統合する確率 P_{AB}^m は、敷地が統合する場合の期待利潤 π_{AB}^m および統合しない場合の期待利潤 π_{AB}^{nomm} に基づいて式(6)のように表される。

$$P_{AB}^m = \frac{\exp \lambda \pi_{AB}^m}{\exp \lambda \pi_{AB}^m + \exp \lambda \pi_{AB}^{nonm}} \quad (6)$$

λ : パラメータ

ここで、統合および非統合の場合の期待利潤は、式(7)、式(8)で表される。

$$\pi_{AB}^m = \beta_0 + \beta_1 \pi_{AB} \cdot f_{AB} \cdot Area_{AB} + \sum \beta_2 X_{AB}^{rel} + \beta_3 X_{AB}^{sur} + \beta_4 X_{AB}^{edge} \quad (7)$$

$$\pi_{AB}^{nonm} = \beta_1 (\pi_A \cdot f_A \cdot Area_A + \pi_B \cdot f_B \cdot Area_B) \quad (8)$$

f : 建坪率 $Area$: 敷地面積

X_{AB}^{rel} : 敷地間条件 X_{AB}^{sur} : 周辺敷地との統合数

X_{AB}^{edge} : 敷地境界条件 $\beta_0 \sim \beta_4$: パラメータ

各々の場合の利潤は、敷地ABを統合して利用する場合および統合しない場合の各敷地の期待利潤をもとにして算出される。敷地*i*における期待利潤 π_i は、現在の建物を何らかの建物に建て替える場合の期待利潤 π_i^d 、および現在の建物を維持する場合の期待利潤 π_i^r のログサム期待値を用いて式(9)で表される。

$$\pi_i = \frac{1}{\delta} \ln(\exp \delta \pi_i^d + \exp \delta \pi_i^r) \quad (9)$$

δ : パラメータ

敷地 AB を統合する場合は現在の建物が必ず除却されるので、 $\pi_i = \pi_i^d$ となる。期待利潤 π_i^d 、 π_i^r については(c)において詳細を示す。(7)式において、第3項は各敷地における土地条件や建物タイプ条件の論理演算によるダミー変数であり、第4項は複数敷地による大規模統合を表現するものである。第5項は次式で表される敷地境界条件であり、統合後の敷地がいびつな形状となる場合に、その利潤が減少することを表現するものである。

$$X_{AB}^{edge} = \frac{L_{AB}^{Bor}}{L_A + L_B} \quad (10)$$

L_A, L_B : 敷地周長 L_{AB}^{Bor} : 隣接境界長

シミュレーションにおいて統合が選択された場合は、敷地形状データベースの変更を行う。また、建物を除去し、当該区画を空地リストに加える。

(c) 除却サブモデル

除却サブモデルは、現在建物が立地している敷地について、その建物を除却して空地とするか否かを表現する。現在の建物を除却する確率 P_i^d は、式(11)のように表される。

$$P_i^d = \frac{\exp \delta \pi_i^d}{\exp \delta \pi_i^d + \exp \delta \pi_i^r} \quad (11)$$

建物を除却する場合の期待利潤 π_i^d 、および現在の建物を維持する場合の期待利潤 π_i^r は式(12)、式(13)で表される。

$$\pi_i^d = \eta_0 + \eta_1 \frac{1}{\theta} \ln \sum_k \exp \theta B_{ik} - C_{k^T}^d \cdot H_{ik^T} - \xi LP_i \quad (12)$$

$$\pi_i^r = \eta_1 B_{ik^T} - \zeta LP_i \quad (13)$$

$C_{k^T}^d$: T 年の建物 k^T の単位高さあたり除却費用

H_{ik^T} : T 期の建物 k^T の階数

ξ : 譲渡税率 ζ : 保有税率

θ, η_0, η_1 : パラメータ

ここで、 B_{ik} は建物タイプ k によって得られる単位敷地面積あたりの期待収益であり、式(4)の床地代に対して高層利用を考慮して式(14)で表される。

$$B_{ik} = R_{ik} \cdot H_{ik} \quad (14)$$

H_{ik} は建物階数であり、新規建物に対しては規制容積率に応じて外生的に与える。除却が選択された場合は、建物を除去し当該区画を空地リストに加える。

(d) 建設サブモデル

建設サブモデルは、空地リスト内の敷地に対して、建設する建物タイプの選択を記述するものである。建設する建物タイプとして建物タイプ k が選択される確率 P_{ik}^c は、式(14)の期待収益を用いて次式で表される。

$$P_{ik}^c = \frac{\exp \theta B_{ik}}{\sum_{k'} \exp \theta B_{ik'}} \quad (15)$$

選択された建物タイプに応じて、各敷地の建物分布を更新する。

(e) 主体立地サブモデル

主体立地サブモデルは、外生的に与えられる $T+1$ 年の立地主体をランダムソートし、更新された建物分布に対して、式(16)の立地選択確率に基づいて順次配分するものである。

$$P_{ki} = \frac{\exp \omega V_{ki}}{\sum_{i' \in \Omega_k^v} \exp \omega V_{ki'}} \quad (16)$$

Ω_k^v : 建物タイプ k の空室集合 ω : パラメータ
 V_{ki} は建物タイプ k の立地主体が敷地*i*の建物に入居する場合の立地効用であり、式(17)で表される。

$$V_{ki} = \gamma_1 b'_{ki} + \gamma_2 (Y_k - R_{ik} q_{ik}) \quad (17)$$

Y_k : 立地主体の収入 (外生)

q_{ik} : 床面積 (外生)

γ_1, γ_2 : パラメータ

3. 分析システムの構築

(1) 空間分析単位の可変性の考慮

図2に敷地統合におけるデータ処理の例を示す。統合処理においては、統合前の敷地形状データを削除して統合後の敷地形状データを新規に作成し、面積、角地、容積率といった属性値を付加する必要がある。また、次期の統合分析に際しては、敷地間の隣接関係を新たに取得し直す必要がある。従って、マイクロシミュレーションを実行するに際しては、シミュレーションの進行にあわせてこれらのデータベースの変更を随時行う必要があるが、空間分析単位の可変性を含むこれらの処理を逐一行うことは非現実的である。そこで本研究では、GISの空間解析機能を活用してこれらの処理を行い、かつシミュレーションの一連の処理を自動化するシステムをGISソフトウェアのカスタマイズによって構築する。

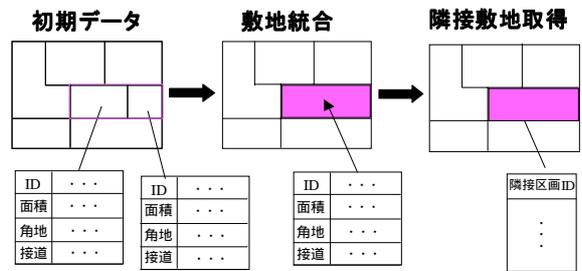


図2 敷地統合処理

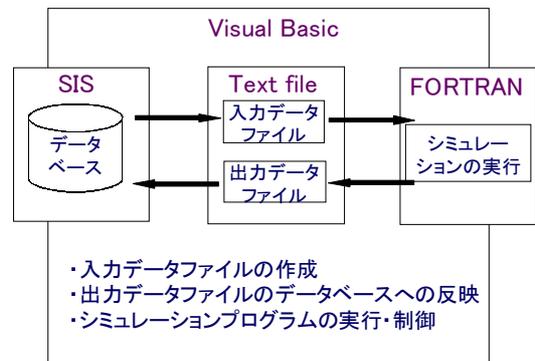


図3 分析システムの概要

(2) 分析システムの概要

本研究では、地理情報システムソフトウェアSIS（（株）Informatix）のカスタマイズを行い、データの管理およびシミュレーションの実行を行う。図3にシステム構造の概要を示す。ここではGis Link機能を用いてSISとリンクし、データベースから入力データファイルを作成する。次に、入力データファイルを読み込んでシミュレーションプログラムを実行し、その結果は出力データファイルに書き出される。そして、出力データファイルに基づいてデータベースを更新する。SISではデータベースの管理とシミュレーションの結果表示が行われる。シミュレーションプログラムはFORTRANで記述され、土地区画統合、建て替えの各シミュレーションが実行される。VBで記述されるカスタマイズプログラムは、シミュレーション用の入力データの作成、シミュレーションプログラムの実行、シミュレーション結果のSISデータベースへの反映といった各処理の総括的な実行・制御を行う。

(3) 分析用データベースの構築

仙台市の既成市街地より分析対象地区を4地区選定し、1987年～2002年における1年ごとの土地利用変化を対象としたデータベースを構築中である。基本となるデータは電子住宅地図Z-mapおよびこれらの期間の住宅地図（いずれも㈱ゼンリン）である。また、入手可能な1968年以降の住宅地図より建物

コーホートデータを作成している。

4. おわりに

本稿ではモデルの定式化と分析システムの概要を報告した。今後は、構築されたデータベースを用いて、パラメータ推定およびシミュレーションの実行する。これらの結果については随時報告する予定である。

【参考文献】

- 1) Waddell, P.A. : UrbanSim, Modeling Urban Development for Land Use, Transportation and Environmental Planning, the Journal of the American Planning Association, 2001.
- 2) Simmonds, D : The design of the DELTA land-use modelling package, Environment and Planning B, Vol.26, No.5, pp.665-684, 1999.
- 3) Hunt, J D et.al. : Design of a statewide land use transport interaction model for Oregon, 9th World Conference of Transport Research, CD-ROM, 2001.
- 4) 柿本竜治, 溝上章志 : 新市街地型区画整理事業地区内ミクロ立地モデルの構築、都市計画論文集, No.37, pp.109-114, 2002.
- 5) Amin Hammad, Yasuo Tomita, Yoshitugu Hayashi : GIS-Based Microsimulation System for Evaluating Urban Spasce Usage, 土木計画学研究・講演集, No.22(2), pp.359-363, 1999.
- 6) 寺島大輔, 富田安夫, 黒田大心 : 建物立地分布の3次元可視化のための用途・階数別建物予測モデルの試み, 土木計画学研究・講演集, No.26, CD-ROM, 2002.
- 7) 林良嗣, 加藤博和, 杉原健一, 田中祥晃, 吉岡美保 : 不動産税制による既存市街地の敷地統合促進に関するモデル分析と可視的評価システム, 土木計画学研究・講演集, No.23(2), pp.475-478, 2000.
- 8) 杉木直, 宮本和明, 村田泰洋 : 既存市街地を対象とした詳細土地利用マイクロシミュレーションシステムの構築, 土木計画学研究・講演集, No.25, CD-ROM, 2002.