

セル・オートマトン法を用いた地方都市解析モデル構築の試み

その1 複層化セル・オートマトンの提案と数理モデル

セル・オートマトン, 地方都市, 都市解析
数理モデル, 人口推計

1. はじめに

2010年をピークに日本の人口は減少に向かう。それと同時に、地方都市の人口移動による衰退は大きな問題を抱え、今後の都市計画にとって大きな転換期に差し掛かっている。著者らは、持続可能な活性化した地方都市の都市計画を進めるに当たり、従来の経験的な手法から脱却した新たな都市における各種需要の正確な予測が、より重要になると考えている。

本研究はこれら都市の各種需要の予測を可能とする数理モデルの構築を目指している。しかし、都市を構成する要素・要因は多様であり、それらの関係や相互作用を規定するには一般に困難を伴うことが予想される。したがって、都市一般ではなく、地方都市に限定し、その都市を構成する特徴的な要素・要因を抽出して、各種需要の予測に反映させる数理モデルを考えることにする。ここでは、各種需要に影響を与える基本として、人口変動に注目した。

人口変動は自然増減と社会増減により構成されており、各々推計する方法が既に確立されている。一般に人口移動は、想定地域が広がるほど、形態が複雑になるため、全体の挙動を把握するのは難しい。また、都市計画に利用するためには人口の持つ多面的な情報を保持する必要があり、このことが更に問題を複雑にしている。

本報告では、上述の内容を踏まえ、地方都市に対する解析モデル構築の基本的な考え方をセル・オートマトン(CA)を用いて構成し、地方都市の把握を目的とした数理モデルを提案する。その1では数理モデルの概念を示し、基本的な考え方を述べる。その2では鹿児島市を取り上げた解析例を示す。

2. セル・オートマトンモデルの複層化

ある地方都市を図1[A]に示すように代表させたセルによって置き換える。代表セルは、学区あるいは行政区など、その地域の人口を表現しうる分け方であればなんでもよい。これらのセルを取り出し([B])、互いにネットワーク(状態遷移関係)を持つと考える([C])。これらのセルとセル間を結んだネットワークを写像して、通常の二次元セル・オートマトンモデルに置き換える([D])。都市のモデルは、多様な要素・要因が考えられるため、種々の状態遷移関係を持った二次元セル・オート

正会員 ○ 松永 安光¹⁾, 同 本間 俊雄²⁾
同 友清 貴和³⁾, 同 豊田星 二郎⁴⁾

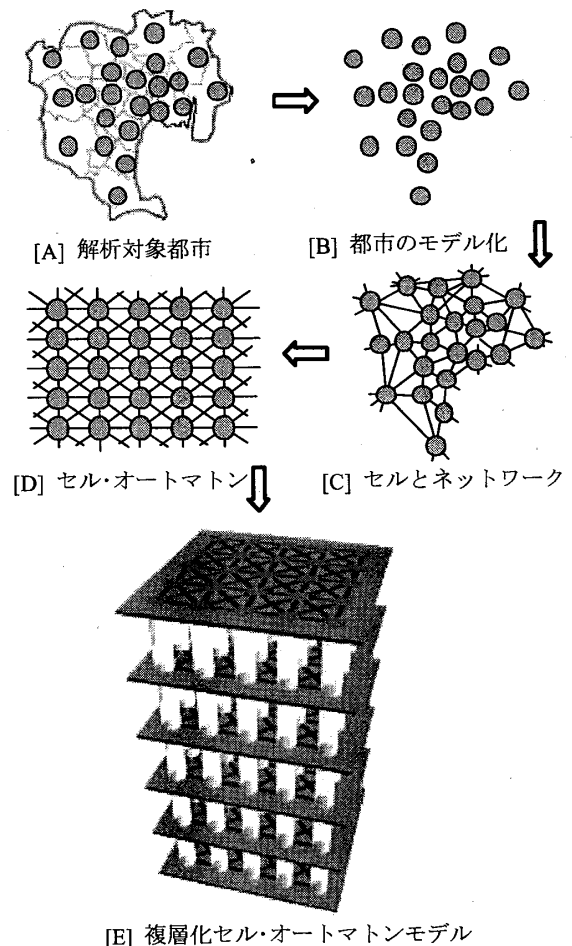


図1 複層化セル・オートマトンモデルの概念図

マトンモデルを幾つか構成することができる。しかも、各モデルのセルはモデルを飛び越して相互に影響し合うと考えられる。そこで、[E]に示すような二次元セル・オートマトンモデルが種々の関係で幾つか構成され、その一つひとつがセルを通して関係付けられるとする。これが複層化セル・オートマトンモデルである。従来は、セルを通した関係も一つのネットワークと解釈し、三次元セル・オートマトンモデルで考えていた。ここで示すアイデアは、CAに層という新しい概念を取り入れたことになる。これによりCAモデルのセルに多面的な情報の格納が可能になる。ただし、セル間の相互作用、セル内やセル間の層の相互作用を規定する状態遷移規則は解析対象

A Case Study for Analysis Model of Local Municipality by Means of Cellular Automata

Part 1 Proposal of Multi-Layered Cellular Automata Model and Mathematical Model

MATSUNAGA Yasumitsu, HONMA Toshio, TOMOKIYO Takakazu, TOYODA Seigirou

の特徴を捉えて定義しなければならない。なお、このモデルは、情報量が増えたとき、情報の格納場所を容易に追加することが可能である。

3. 数理モデルの考え方と構成

CA のモデルでは構成セル間の局所的相互作用を通して、大域的な秩序や挙動が生成されるボトムアップ的な機構と、構築された大域的な秩序や挙動が逆に構成因子の振る舞いや相互作用に影響して変化させるというトップダウン的な機構をも有するシステムである(詳細は、文献 1)-3)参照のこと)。

このような CA の特性を拡張させた章 2 で説明している複層化 CA の概念を具体化させるため、代表セル内の状態変数 P を次式のように定義する。

$$P_{i(k)} = P_{i(k)}(t), \quad P_{i(k)}^{t_n} = P_{i(k)}(t_n) \quad (1)$$

$$P_{i(k)}^{t_n} = \sum_{r=1}^s P_i^r(k) t_n \quad (2)$$

ここで、 t :ステップ、 i :代表セル、 k :層(s : k 層の種類)である。式(1)は状態量が t の関数であることと、 t の離散量の定義を与えている。式(2)に示すように各層には複数の状態量 $1 \sim s$ が存在し、その状態量が集まり層を形成する。この数は任意の個数をとることが可能である。また、層を入れ子状にすることで、更なる拡張も可能になる。例えば、年齢別構成による層のモデルにおいて各層に男女の人口という状態量を定義することが可能である。

次に、次ステップへ推移するセルとセル間に働く規則や層間の規則、すなわち状態遷移規則は次のように自律規則 π と近傍規則 Ψ に分けて考える。

$$P_{i(k)}^{t_{n+1}} = \pi(P_{i(m)}^{t_n}, \alpha_{i(pq)}^{t_n}, \vartheta_{i(pq)}) \quad (p, q = 1, 2, \dots, k) \quad (3)$$

$$P_{i(k)}^{t_{n+1}} = \sum_{j \in \phi} \sum_{p, q \in K} \Psi_{ij}(P_{i(r)}^{t_n}, P_{j(r)}^{t_n}, \beta_{ij(pq)}^{t_n}, \theta_{ij(pq)}) \quad (4)$$

ここで、 $\alpha_{i(pq)}^{t_n}$: i セル p, q 層間の影響係数、 $\vartheta_{i(pq)}$: p, q 層間の閾値、 ϕ : 指定近傍、 $\beta_{lm(pq)}^{t_n}$: l セル m セル間の p, q 層間影響係数、 $\theta_{lm(pq)}$: l セル m セル間の p, q 層間閾値である。

なお、状態量 P は人口に限定する必要はなく、他の各種需要に対応する状態量を採用しても式(1)~(4)は成立する。

4. 解析の方法

ここで示した複層化 CA モデルを用いて、具体的な人口推計

の方法の一例を示す。セルは近傍のセルあるいはフィールドのセル全体と自己の値を比較し、状態遷移規則に従って値をやり取りする。このセル=地域(町など)、値=人口、やり取り(規則)=人口移動となる。手順は以下の通りとする。

- ① 人口変動モデルを構築する(状態遷移規則の設定)。
 - ② 不規則な地図を格子状のセルにモデル化し、実際面積を算出する。
 - ③ 地方都市の統計データから、モデル化したセルに対応する人口表を作成する(層は統計データより構成・④参照)。
 - ④ 統計データからセルに初期値として地域別・年齢別・性別人口、あるいは職業別や収入別等(層)の人口、男女の死亡率、女子の年齢別出生率、セルの面積、セル間の距離を与える。
 - ⑤ セル間・層間の相互作用を規定する状態遷移規則の計算パラメータを規定する(影響係数、閾値の決定)。
 - ⑥ 自然・社会増減による設定セルの人口分布・構造の変動を調べる。
 - ⑦ 解析結果から規則及び含まれる計算パラメータの種類・値・組合せの挙動特性を把握する。
 - ⑧ 解析結果と過去の統計データと照らし合わせ、再現性が高いパラメータを抽出する(人口変動の推移データと計算データとの一致度の算出)。
 - ⑨ 計画イベントによる人口移動を⑧で調べた幾つかの再現性の高い計算パラメータを用いて将来予測する。
- 以上の手順により、都市を解析し、新たな計画内容による人口移動の予測を実施して、都市計画に反映させる。

5. おわりに

本報告では、複層化セル・オートマトンモデルを提案し、そのモデルを用いることで各種需要の数理モデルを設定した。具体的な状態変数として都市を構成する人口に注目し、人口移動を取り上げた解析手順を示した。統計データを用いることで、地方都市特有の傾向を計算に導入することができる特徴を有する。ここで示した計算手順が、地方都市を再現するモデルとなるか、実際の解析例の過程はその 2 で示す。

参考文献

- 1) Neumann, J.: *Theory of Self-Reproducing Automata*, University of Illinois Press, 1966.
- 2) Wolfram, S.: *Cellular Automata and Complexity*, Addison Wesley, 1994.
- 3) Clarke K C, Gados L, 1997: A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay area, *Environment and Planning B: Planning and Design* 24(2), 247-262.
- 4) 本間: セル・オートマトン、構造形態創生の理論と応用, 日本建築学会・丸善、応用力学シリーズ 8, 14, 2001.
- 5) 石川義孝: 人口移動の計量地理学, 古今書院, 1994.
- 6) 国立社会保障・人口問題研究所: 日本の将来推計人口(平成9年1月推計)都道府県の将来推計人口(平成9年5月推計).
- 7) 豊田ほか: セルオートマトン法を用いた都市の誘導モデルに関する基礎研究, 日本建築学会九州支部研究報告題 40 号 2, 313-316, 2001

1) 鹿児島大学工学部建築学科・教授・M.Arch.

2) 鹿児島大学工学部建築学科・助教授・工博

3) 鹿児島大学工学部建築学科・教授・工博

4) フリー・修(工)

Prof., Dept. of Architecture & Architectural Eng., Kagoshima Univ., M. Arch Assoc. Prof., Dept. of Architecture & Architectural Eng., Kagoshima Univ., Dr. Eng Prof., Dept. of Architecture & Architectural Eng., Kagoshima Univ., Dr. Eng Free. M. Eng.