

## 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2 鹿児島市を例としたシミュレーション手順

正会員 ○ 福永 知哉<sup>1)</sup>, 同 松永 安光<sup>2)</sup>, 同 本間 俊雄<sup>3)</sup>

セル・オートマトン, 地方都市, 都市解析モデル

同 友清 貴和<sup>4)</sup>, 同 豊田 星二郎<sup>5)</sup>

シミュレーション, 人口推計, 鹿児島市

## 1. はじめに

著者らが提案した複層化セル・オートマトン(複層化 CA)を用いた地方都市解析モデルの有効性を確認するために、鹿児島市を取り上げ、具体的な地方都市解析の手順一例を説明する。まず、鹿児島市の人口変動に関する特徴を考察し、遷移状態関数を設定する。次に、統計データから初期値を決めて、状態遷移関数を制御する計算パラメータを変化させ、人口変動の試行計算をする。このとき、統計データを活用し、実際のデータと解析結果データとの比較を行い、時系列に沿った適合度を算出する。この適合度がよい幾つかの計算パラメータを抽出し、人口変動の予測に利用する。

## 2. 解析モデル

**フィールド** 図1に示すように鹿児島市の中心に位置する53の町、人口11万人の地域を、格子状の25(5×5)のセルにモデル化する。セルの大きさは630×630mである。これは鹿児島市中心市街地の平均的な町が1~3つ入る大きさであり、市内の殆どの町においても2つのセルに分割されることはない。ここでは、モデルを簡単にするため、人口移動がこの25セル内でのみ行われるものとし、25のセル間の相互作用による人口分布・人口構造の変化を推計する。

**セル** セルは人口ピラミッドと同じ5年間隔年齢別・男女別人口20×2の層状の情報を持つ。セル間で近傍規則により人口を移動させながら、セル内においても自律規則に従った人口増減を考える。ステップ計算では1ステップ毎に各層を1つ上の層に繰り上げる。なお、状態量Pは人口密度とする。

## 3. 状態遷移規則

人口は、出生と転入によって増加し、死亡と転出によって減少する。したがって、増加人口は次のように表現できる。

増加人口=(出生-死亡)+(転入-転出)=自然増加+社会増加

この式を人口学的方程式という。状態遷移規則では、この自然増加と社会増加を切り離して考える。前者をセル内の自律規則、後者をフィールド内の近傍規則として取り扱う。

**自律規則** 各セル内での死亡と出生による人口変化及び成長

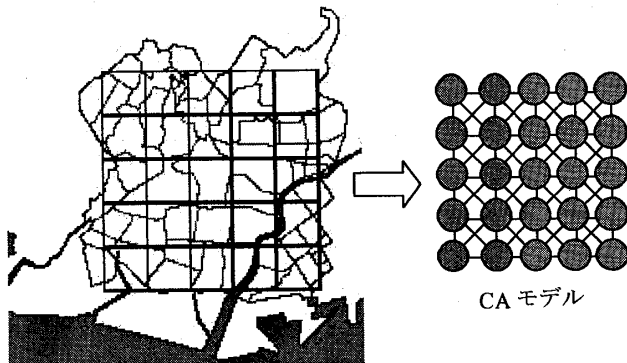


図1 鹿児島市の解析モデル

による層の移動を規定するルールを与える。ここではコーホート要因法に準じるモデルとするが、純移動計算は行わない。**近傍規則** 計量地理学の視点の基、人口密度を指標とする状態遷移ルールを定義する。全国の移動理由別の移動者数によると、県内移動は住宅事情・結婚・転勤の順に数が多い。これらの移動全てを表現するため、5個の規則を定義する。①近接移動(多→少),②長距離移動(少→多),③家族移動(随伴行動),④結婚移動(随伴行動),⑤行政・イベント事業(魅力)。(以下に式を示すが紙面の関係上詳細な説明省略)

## ①近接移動

$$P_{i(k)}^{t_{n+1}} = P_{i(k)}^{t_n} + \sum_{j \in \phi(N)} \left( P_{j(k)}^{t_n} \right)^\gamma - N \left( P_{i(k)}^{t_n} \right)^\gamma \quad (1)$$

$\gamma$ : 人口比パラメータ、 $\phi(N)$ : N個の隣接セル

## ②長距離移動

$$P_{i(k)}^{t_{n+1}} = P_{i(k)}^{t_n} + \sum_{j \in \omega} \left( \frac{P_{j(k)}^{t_n}}{P_{i(k)}^{t_n}} \right)^\delta d_{ij}^\beta \quad (2)$$

$$P_{i(k)}^{t_{n+1}} = P_{i(k)}^{t_n} - \sum_{j \in \omega} \left( \frac{P_{j(k)}^{t_n}}{P_{i(k)}^{t_n}} \right)^\delta d_{ij}^\beta \quad (3)$$

$\delta$ : 人口比パラメータ、 $\beta$ : 距離パラメータ、 $d_{ij}$ :  $i, j$ セル間距離、 $\omega$ : 人口が流入するセルの集合

## ③家族移動

$$P_{i(k)}^{t_{n+1}} = P_{i(k)}^{t_n} + \alpha_{ak} M_{ai(m)}^{t_n} \quad (k \neq m) \quad (4)$$

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

Part 2 Simulation Procedure as Exemplified in the Case of Kagoshima City

FUKUNAGA Tomoya, MATSUNAGA Yasumitsu, HONMA Toshio, TOMOKIYO Takakazu, TOYODA Seigirou

$\alpha_{ak}$  : 移動パラメータ、 $M_{ai(m)}$  : 男性の移動数

④結婚移動

$$P_{i(k)}^{t_{n+1}} = P_{i(k)}^{t_n} + \alpha_{ak} M_{ai(m)}^{t_n} \quad (k \neq m) \quad (5)$$

$\alpha_{bk}$  : 移動パラメータ、 $M_{bi(m)}$  : 男性の移動数

⑤行政・イベント事業

$$P_{i(k)}^{t_{n+1}} = P_{i(k)}^{t_n} + \rho H \sum_{j \in \mu} P_{j(m)}^{t_n} \quad (6)$$

$$P_{j(k)}^{t_{n+1}} = (1 - \rho H) P_{j(k)}^{t_n} \quad (7)$$

$$H = 1 - \left( \frac{y}{Y} \right)^2 \quad (8)$$

$\rho$  : 集中パラメータ、 $H$  : 魅力係数、 $\mu$  : 人口流入するセルの集合、 $Y$  : 魅力期間、 $y$  : 時間経過。

4. 数値実験と考察

式(1)-(8)で表現される5つの規則において、各セル上で、計算パラメータ設定とその取り得る範囲は表1に示す通りとする(男女、子供、親、夫、妻、人口比、セル範囲、距離、移動の各パラメータ)。まず、自律規則と近傍規則に関する5個の基本規則に含まれるパラメータを変えて計算を試行する。まず、近傍規則の一つ取り上げた単独試行の755パターンを実施し、その傾向を把握した。次に、5つの近傍規則の内、幾つか取り上げた複合試行を実施する。各試行に対し、統計データ(5年毎)との差を算出し、適合度を調べた。その結果、適合度の高い幾つかの計算結果を得ることができた。全ての試行内容と適合度の高いパラメータ設定の結果から、以下に示す傾向が捉えられた。なお、統計データは鹿児島市の1975年から2000年までの25年間を用いている(解析の最終結果一例として図2に各セルの人口ピラミッド図を示す)。

自律規則により、封鎖人口の人口ピラミッドが富士山型から釣鐘型へ、葱坊主型から安定人口へ移行する現象が再現できる。地域によっては人口移動が行われるが、結果として自然増減と変わらない地域もある。なお、新生児の数を女性の数から計算しているため、男女比が極端に違う地域の計算には適さない。しかし、現状の解析において問題は生じていない。近傍規則の単独試行では、計量地理学上の特徴が再現できる。近接移動と長距離移動規則は人口移動を再現するパラメータの設定ができ、その補完として家族移動、結婚移動、行政・イベント事業の規則が利用できることを確認した。

- 1) 鹿児島大学理工学研究科・大学院生
- 2) 鹿児島大学工学部建築学科・教授・M.Arch.
- 3) 鹿児島大学工学部建築学科・助教授・工博
- 4) 鹿児島大学工学部建築学科・教授・工博
- 5) フリー・修(工)

表1 計算パラメータ一覧

	開始年齢	終結年齢	セル	人口比パラメータ
近接移動	男:0-95	男:0-95		0-1
	女:0-95	女:0-95		0-1
長距離移動	男:0-95	男:0-95	1-25	0-1
	女:0-95	女:0-95	1-25	0-1
家族移動	夫:15-75	子:0-60		0-1
		親:35-95		0-1
		妻:15-75		0-1
結婚移動	男:0-95	女:0-95		0-1
				0-1
行政・イベント事業	セル	期間	集中パラメータ	
	1-25	0-8	0-1	

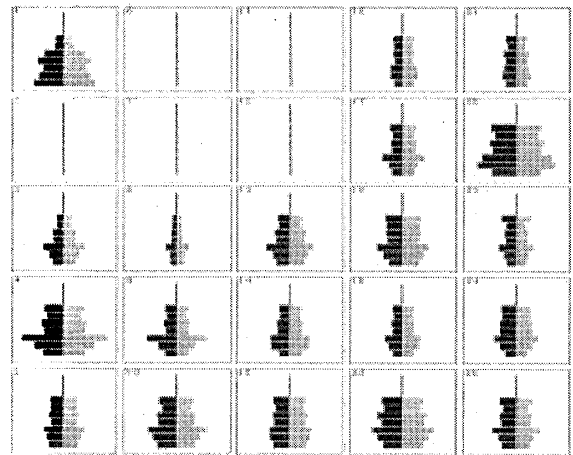


図2 解析例(25セルの人口ピラミッド)

5. おわりに

本報告では、複層化セル・オートマトンを利用して、適当な規則設定から、特定地域の統計データとの適合度を調べることで、比較的地域現象が再現できるパラメータの決定ができる過程を示した。この適合度の高いパラメータを用いて、近未来の人口移動を推定する。特に、行政・イベント事業の計画に役立てることを考えている。なお、各種規則の決定法にはここで示した考え方以外に種々想定できる。今後、より現象を再現させる数理モデル開発の工夫が必要になるだろう。

参考文献

- 1) 松永ほか：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), 日本建築学会大会, 2001
- 2) 大貝ほか：セル・オートマトンを用いた人口・従業者分布予測モデルの開発(その1)(その2), 日本建築学会大会, F-1 分冊, pp.769-772, 2000

Graduate Student, Graduate School of Science and Eng., Kagoshima Univ.  
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.