

## セル・オートマトン法を用いた地方都市解析モデルの評価法

正会員 ○ 松永 安光<sup>1)</sup>, 同 本間 俊雄<sup>1)</sup>, 同 友清 貴和<sup>1)</sup>,  
同 福永 知哉<sup>2)</sup>, 同 豊田星二郎<sup>3)</sup>

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, 評価

## 1. はじめに

著者らは、文献 1), 2)において、コーホート要因法に準じる人口の自然増加規則と計量地理学の視点に基づく社会増加規則を導入した複層化セル・オートマトン法による地方都市解析モデルを提案した。このモデルは、複雑な要素・要因を有する地方都市の人口移動による地域衰退の近未来状態予測や都市の特徴の把握に利用できるため、今後の都市計画に対して、新たな視点に基づく情報が提供できる可能性を持つと考えている<sup>3)</sup>。

本報告では、この提案モデルにおいて、様々な人口移動等の規則パラメータの決定(評価)方法が不明確であるとの指摘を受け、パラメータ決定の評価方法を提示する。また、本方法に基づいて開発した試作システムも紹介する。計算例では、鹿児島市の住宅中心地を取りあげ、地域開発による人口移動の把握と本モデルの今後の展開を論じる。

## 2. 都市のモデル化の概要

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。人口移動は、モデルの簡略化のため、この 25 セル内でのみ行うものと仮定した。セルは人口ピラミッドと同じ 5 才間隔年齢別・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、状態量は人口密度である。

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。このモデルの増加人口は次の人口学的方程式として表現できる。

増加人口=(出生-死亡)+(転入-転出)=自然増加+社会増加

セル・オートマトン法で重要な状態遷移規則は、この自然増加と社会増加を切り離す。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する。自律規則はコーホート要因法に準じる。近傍規則は計量地理学の視点の基、人口密度を指標とする次の状態遷移ルールを定義する。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)。この 5 つの状態遷移ルールには、27 の計算パラメータが存在する(具体的な規則式や計算手順は文献 1)~3)参照のこと)。

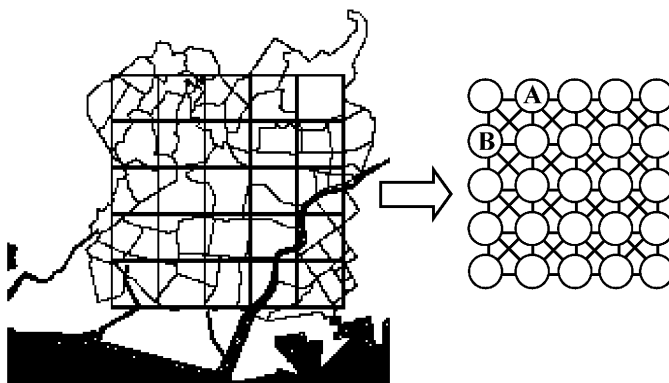


図 1 鹿児島市の解析モデル

## 3. 評価方法

評価方法とは、5 つの状態遷移ルールの各計算パラメータを変化させ、人口の統計データとの適合度を調べることである。適合度の高い計算パラメータの組み合わせを見いだせば、その計算パラメータが、モデル地域の特徴を表す指標ともなる。解析結果の適合度を時系列で追跡し、最も再現性の高い計算パラメータの組み合わせ(以後、パラメータパターン)を抽出することが、本解析モデルの設定に重要な鍵となる。

## 3.1 セルの評価

各計算ステップで、適合度  $\omega$  の評価値は次式を用いる。

$$\omega^t = \sum_{i=1}^M \sigma_i^t$$

ただし、 $\sigma_i^t$ : 時間ステップの  $i$  セルにおける評価値、 $M$ : セルの総数(ここでは  $M=25$ )、 $\sigma_i^t$  は以下の式を用いる。

$$\sigma_i^t = \frac{1}{A^t} \sqrt{\frac{1}{2N} \left[ \sum_{k=1}^N \left( P_{m(i,k)}^t - P_{m(i,k)}^{t'} \right)^2 + \sum_{k=1}^N \left( P_{f(i,k)}^t - P_{f(i,k)}^{t'} \right)^2 \right]}$$

ただし、 $P$ : 人口、 $N$ : 1 セル内年齢層数、 $P_{S(i,k)}^t$ : 計算による  $t$  時間ステップの  $i$  セル  $k$  層の  $S$  データ、 $S=m$ (男),  $=f$ (女)、 $A^t$ :  $t$  ステップにおける平均人口(統計量)、 $P'$ : 統計人口データ

## 3.2 ペナルティ

上記の評価式より分かるように、計算ステップ毎の各セルの評価値  $\sigma_i^t$  がゼロに近いほど再現性が高い。しかし、 $\sigma_i^t$  は小さいが、 $k$  層のみ極端に計算値と統計量がずれている場合がある。このとき、ペナルティを付加する判断値  $\lambda_{i(k)}$  は次式で与える。

$$\lambda_{i(k)}^t = \frac{2N}{P_i^t} \left| P_{S(i,k)}^t - P_{S(i,k)}^{t'} \right|$$

$\lambda_{i(k)}$  が設定値を越える場合(1.5 あるいは 2.0 など)に適当なペ

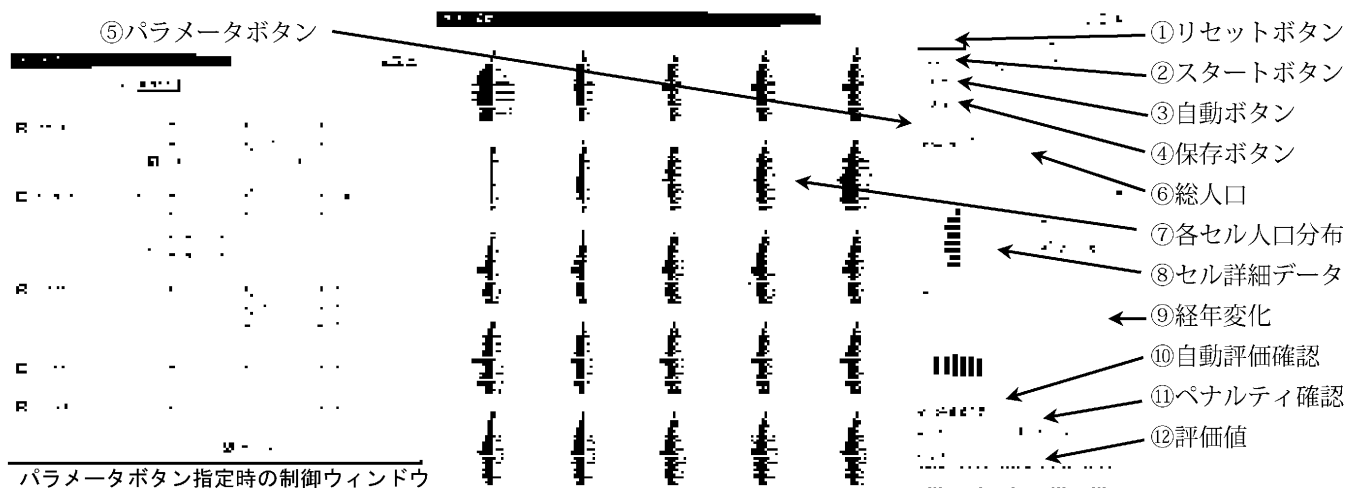


図2 システム起動時の本体外観(ユーザ・インターフェイス部)

ナルティ値を  $\sigma_i'$  に加える。

### 3.3 時系列の評価と最適パラメータの抽出

時系列の総評価値  $\Omega$  は統計データが存在する  $T$  ステップをシミュレートすると以下の式で与えられる。

$$\Omega = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \omega^t$$

## 4. 評価システムの開発

本セル・オートマトン法によるモデルの解析システムを Microsoft Visual Basic 6.0 で開発した。システム起動時の本体外観(ユーザ・インターフェイス部)は図2に示す通りである。

## 5. 解析結果

5つの人口移動を規定する状態遷移ルールに対して、各々単独試行を実施し、各パラメータの範囲を絞り込む。絞り込んだ後、評価値  $\Omega$  が小さな値となるパラメータパターンを探索する。統計量は 1980 年から 2000 年までの 5 年間隔の鹿児島市が公開しているデータを利用した(5 時間ステップ)。解析例を図3に示す。このグラフは、横軸に 1980 年から 2000 年までの時間軸、縦軸に評価値を取っている。ペナルティは 0.01、ペナルティ判定  $\lambda$  は 2.0 とした。あらかじめ単独試行でパラメータ範囲を絞り込んだため、計算上極端な違いは表れない。Case00 は自律規則のみである。Case06 は行政事業以外の規則による評価値の最も良いパラメータを設定した。Case12 は Case06 に行政事業のパラメータを導入した(各パラメータ値省略)。なお、評価値の絶対量は、 $\sigma_i'$  の式の内容やペナルティの値により変化するため大きな意味はなく、大小関係だけに注目しなければならない。ここで取りあげたパラメータパターンにより、2010 年の人口分布を予測する。元々図1のセル A において継続的に大規模な団地建設が行われていた。そこで、 $\alpha$ )セル A の大規模団地建設事業を 2000 年から実施しない場合と  $\beta$ )セル A からセル B に大規模団地建設事業を移行した場合の計算結果を図4に示す。

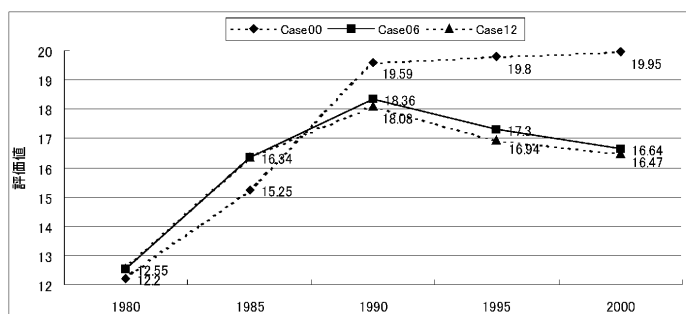
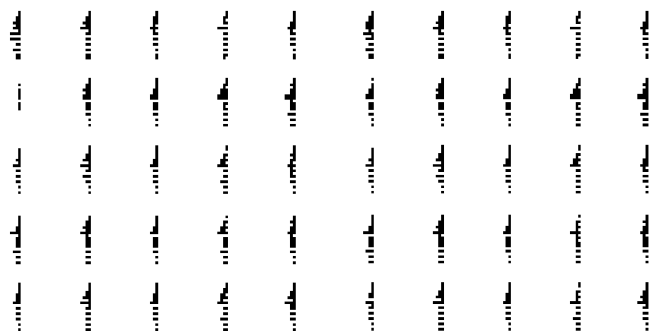


図3 複合規則試行による評価値の変遷

図4 2010年の予測(左:  $\alpha$ )の結果、右:  $\beta$ )の結果)

## 6. 終わりに

本報告では、著者らの提案したセル・オートマトン法による都市解析モデルの評価方法を明確にし、予測評価システムを開発した。このシステムにより、最も良いパラメータパターンを探索し、行政事業による近未来を予測した。この人口分布予測に基づき、各種需要を把握して新たな計画に反映させることができる。なお、図3において、1980年から1990年まで評価値が増加したのは、モデル外からの人口流入のためであり、モデル内外の流入規則を設定すれば解消される。

参考文献: 1) 豊田, 友清, 松永, 本間: 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 2) 松永, 友清, 本間, 福永, 豊田: 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, その2, 日本建築学会大会学術講演会(東京), F-1, pp.223-224, 2001 3) 福永, 豊田, 友清, 松永, 本間: セルオートマトン法を用いた地方都市活性化モデルの評価, 日本建築学会九州支部研究発表会, 第41号・2計画系, 2002

1) 鹿児島大学工学部建築学科・工博

2) イクス・アーク都市設計・修(工)

3) フリー・修(工)

Dept. of Architecture & Architectural Eng., Kagoshima Univ., Dr. Eng

X-ARC URBAN ARCHITECTS INC, M. Eng.

Free, M. Eng.