

# 複層化セルオートマトンによる地方都市の解析システム

正会員○雪丸久徳\*<sup>1</sup> 同 友清貴和\*<sup>2</sup> 同 本間俊雄\*<sup>3</sup>

## 7. 都市計画—都市と地域

都市・地域計画, 人口移動, 解析システム, 複層化セルオートマトン

### 1. 研究の背景と目的

2006年を境に日本の総人口は減少に向かう。その中で、人口規模がさほど大きくない地方都市の人口移動による衰退は大きな社会問題を抱えている。地域ごとの人口の多面的な変動を予測し、それに見合った都市における各種需要を推定することは、持続可能な活性化した都市計画を進めるにあたり、重要なポイントである。

本研究では、地方都市に対する解析モデル構築の基本的考え方として複層化セルオートマトン(以下複層化CA)を用いる。複層化CAによる都市解析モデルの有効性は既に確認されている<sup>1)</sup>。しかし、地図上の領域を格子状に分割したものをセルとし扱っているためモデルに汎用性がなく地域情報の正確な把握も困難である。

本研究ではその問題点を解決するため、GIS(地理情報システム)を利用する。GISはレイヤー構造になっており、この複層化CAとデータ構造が同じであるため、複層化CAとリンクさせることは有効であると考えられる。本論ではGISを用いた汎用性・利便性の高い複層化CAによる都市解析システムを作成することを目的とおく。

### 2. 解析システムの概要

#### 2-1 基本方針

システム概念図を図1に示す。本システムはGISと独自に開発した4部門で構成する。GISから得られる各セルの属性データを数値解析用に変換し、システムに取り込む。それらを基に解析を行い、推定人口グラフや総人口などの解析結果を視覚的に提示する。解析モデルとして複層化CAを用いる。複層化CAモデルの基本的な考え方は文献1)を継承する。継承項目については次の項で示す。なお、

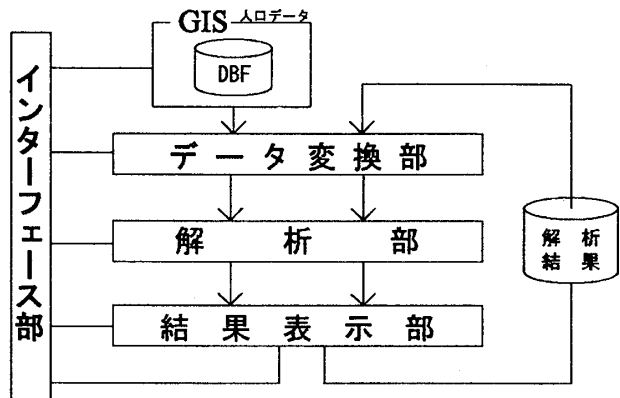


図1 システム概要図

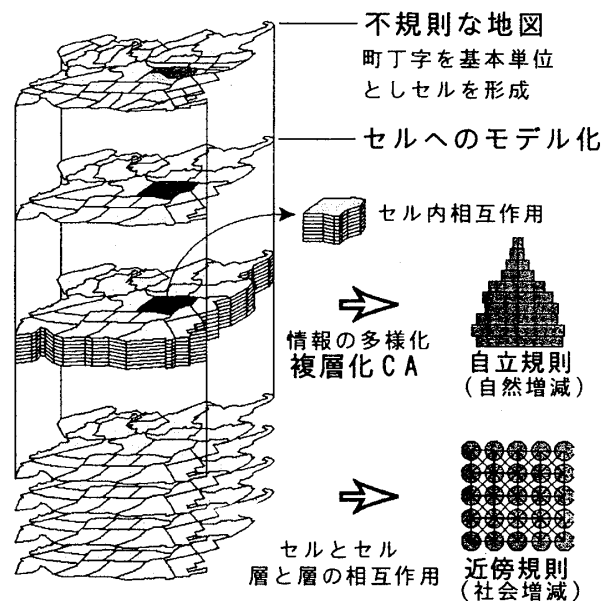


図2 複層化CAモデルの概念図

本システムは Visual Basic6.0, ArcView8.1(ArcGIS) および、Excel2000 を用いている。

#### 2-2 複層化CAモデルの考え方

##### 2-2-1 継承項目

継承した複層化CAモデルの基本的な考え方は次の通りである。

①複層化CA の概念

図2に複層化CAモデルの概念図を示す。地図からセルへモデル化したセル群は互いにネットワーク関係(状態遷移規則)を持つものとする。セルとセル間を結んだネットワーク全体が通常の2次元CAモデルである。このCAモデルを複層化し、多様な要素・要因からなる都市の人口移動をモデル化する。この複層化CAモデルは多面的な情報の格納と操作を可能とする。

②解析モデル

[セル]

セルは人口ピラミッドと同じ5歳間隔年齢別・男女人口別21×2の層状の人口を持つ。セル群は互いにネットワーク関係(状態遷移規則)を持つものとする。状態遷移規則について以下に説明する。

[状態遷移規則]

状態遷移規則は人口増加を式(1)のように表現し、自然増加と社会増加を切り離して考え、前者を自律規則、後者をフィールド内の近傍規則として取り扱う。

$$\begin{aligned} \text{人口増加} &= (\text{出生} - \text{死亡}) + (\text{転入} - \text{転出}) \\ &= \text{自然増加} + \text{社会増加} \end{aligned} \quad (1)$$

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。

表1 近傍規則式

近接移動	$P_{i(k)}^{n+1} = P_{i(k)}^n + \frac{KP_{i(k)}^n}{P_i^n} \sum_{j \in \phi} \left[ \left( \frac{P_j^n}{P_i^n} \right)^\gamma - \left( \frac{P_{i(k)}^n}{P_i^n} \right)^\gamma \right]$ <p><math>\gamma</math>: 人口比パラメータ <math>\phi</math>: N個の隣接セル K: 対象層総数</p>
遠距離移動	$P_{i(k)}^{n+1} = P_{i(k)}^n + \frac{KP_{i(k)}^n}{P_i^n} \sum_{j \in \phi} \left( \frac{P_j^n}{P_i^n} \right)^\beta d_{ij}^\beta \quad (i \in \phi, \beta \leq 0) \quad (\text{流入セル})$ $P_{i(k)}^{n+1} = P_{i(k)}^n - \frac{KP_{i(k)}^n}{P_i^n} \sum_{j \in \phi} \left( \frac{P_j^n}{P_i^n} \right)^\beta d_{ij}^\beta \quad (i \notin \phi, \beta \leq 0) \quad (\text{流出セル})$ <p><math>\phi</math>: 人口比パラメータ <math>\beta</math>: 移動パラメータ K: 対象層総数 <math>d_{ij}</math>: ijセル間距離 <math>\phi</math>: 人口が流入するセルの集合</p>
随伴移動	$P_{i(k)}^{n+1} = P_{i(k)}^n + \alpha_k M_{i(m)}^n \quad (k \neq m)$ <p><math>\alpha_k</math>: 移動パラメータ <math>M(m)</math>: 男性の移動数</p>
魅力移動	$P_{i(k)}^{n+1} = P_{i(k)}^n + \rho H \sum_{j \in \phi} P_{j(k)}^n d_{ij}^\beta$ $P_{j(k)}^{n+1} = (1 - \rho H) P_{j(k)}^n d_{ij}^\beta \quad (j \notin \phi)$ $H = 1 - (t/T)^2$ <p><math>\rho</math>: 集束パラメータ H: 魅力係数 T: 魅力期間 t: 時間経過 d: セル間距離 <math>\phi</math>: 人口流入するセルの集合</p>

近傍規則

計量地理学<sup>3)</sup>の視点の下、人口密度を指標とする5つの状態遷移規則を以下のように定義する。それぞれのルールは発現強度を左右するパラメータを持つ。状態量Pは人口密度である。表1に各異動の定義式を示す。

1) 近接移動

移動者が不完全な情報・限定された条件の下に安価な土地(人口が集中していない地区)を求めて近距離移動することを想定している。

2) 遠距離移動

移動者が広い視野で、なるべく移動距離を少なくしつつ、人口密度の高い地域に移動することを想定している。

3) 家族移動(随伴移動)

世帯主の移動に対してその家族が引っ越し・転勤などで随伴する形で移動することを想定している。

4) 結婚移動(随伴移動)

結婚により男性に伴い配偶者が随伴して移動することを想定している。本質的に家族移動と同じルールである。

5) 魅力移動

移動者が宅地開発事業等の行政事業に伴い、魅力の高い地域に移動することを想定している。

③再現性の評価

解析結果を時系列で評価できる方法を規定し、解析結果の人口データと実際の統計データとの適合度を表す独自の評価値を解析結果に与える。

1) 一致度(セル毎の評価)

解析により得られるの推計人口と統計[実]データと適合度を評価する。一致度は次式で与える。

$$\sigma_i^{tn} = \frac{1}{A_i^{tn}} \sqrt{\frac{1}{KL} \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \left( P_i^{(k)tn} - \tilde{P}_i^{(k)tn} \right)^2}$$

$\rho$ : 男(女)-統計[実]データ L: 男女区分  
A: 一層あたりの平均人口密度 K: 対象層総数

2) 評価値(ステップ毎の評価)

全セルの一致度の総和より、そのステップの系全体の適合度を評価し、評価値を与える。

$$\delta^{tn} = \sum_{i=1}^N \sigma_i^{tn} \quad \sigma: \text{セルの一致度}$$

### 3) ペナルティ

評価値が小さいほど再現性の高いパラメータパターンであるが、評価値が小さい場合でも、ある特定の年齢層において解析結果と統計データとに極端な誤差が生じる場合がある。このため、セルの評価値にペナルティを与える評価方法を設定する。

$$\lambda_{i(k,p)}^n = \frac{KL}{P_i^n} \sqrt{\sum_{k=1}^K (P_i^{(k)n} - \bar{P}_i^{(k)n})^2} \quad p: \text{男(女)-統計[実]データ}$$

### 2-2-2 複層化 CA モデルの改良及び拡張

複層化 CA モデルの改良及び拡張された具体的な内容を以下に示す。

#### ① 近傍規則

**遠距離移動:** 流入セルの各年齢層の人口流入量は、セル全体の人口密度の状態決定する。遠距離移動による流入人口量は各年齢層の人口割合により分配する。

**近接移動:** 各年齢層の人口移動量は、セル全体の人口密度の状態決定する。近接移動による移動量は各年齢層の人口割合により分配する。

**魅力移動:** 移動距離への敬遠の程度を表す距離パラメータを付加する。

#### ② 誤差の補正

近傍規則による移動前後の総人口は等しいものと仮定し、生じた誤差を各セル各年齢層の人口割合に応じて再分配する。

#### ③ 一致度

各セルにおいて、統計[実]データから得られるセル内の一種別当たりの平均人口密度と解析により得られる推計人口密度との適合度を評価する。より正確な適合度が得られる。

### 2-3 GIS を用いたシステム化

GIS を用いたシステム化により拡張された具体的な考えについて述べる。

#### ① セルの構成

GIS を用いて地図上の領域を町丁字を基本とするセルに分割する。GIS を用いることにより地域情報の正確な把握が可能となり、より現実的な解析ができる。

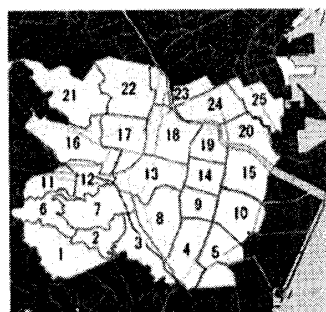


図3. セルの構成 (25セル)

図3に、モデル対象地区のセル構成を示す。

#### ② データ構造

GIS の地図上の各セルの属性データは表形式である。解析に用いる全てのデータを表形式で保持する。データの変更・追加などに柔軟に対応できる。

#### ③ インターフェース

対象領域の中から、ユーザーが選択したセルの解析結果及び時系列変化を視覚的に提示する。対象領域の変化に、柔軟に対応し、汎用性が高まる。

## 3. システムの内容

### 3-1 システムの構成

本システムは、以下に示す4つの部門から構成される。(図1参照)

#### 1) データ変換部

GIS から得られる各セルの5歳間隔年齢男女別人口データや面積データ等を数値解析用に、Excel形式に変換しシステムに取り込む。

#### 2) 解析部

1975年の人口データ(統計[実]データ)を初期値として、Excelの関数機能およびマクロを用いてパラメータに応じてNステップ(N×5年)後の解析を行う。解析結果は一時Excel内に格納され、次のステップを計算する際の基礎データ及び、推定人口グラフや総人口などの結果表示に用いられる。解析部におけるデータの流れを図4に示す。

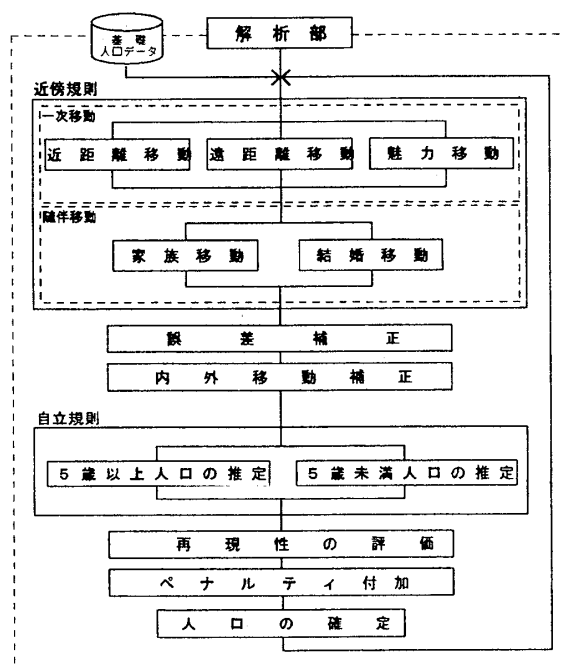


図4 データの流れ

### 3) ユーザーインターフェース部

システムの操作パネル部分にあたる。GUI (Graphical User Interface 以下 GUI) を有し、簡単なシステムアクセスとグラフィックス表示を可能としている。実際のシステム画面を図5に示す。

### 4) 結果表示部

解析結果を詳細グラフと時系列グラフとして描画し、ユーザーに視覚的に提示する。

#### 3-2 システムの機能

システム機能図を図6に示す。図6は図5のシステムメイン画面と対応している。本システムの機能を分類すると1)パラメータの設定・変更、2)解析実行と保存、3)表示の方法、セル、年の設定・変更、4)解析結果のグラフィックス表示の4つに分けられる。

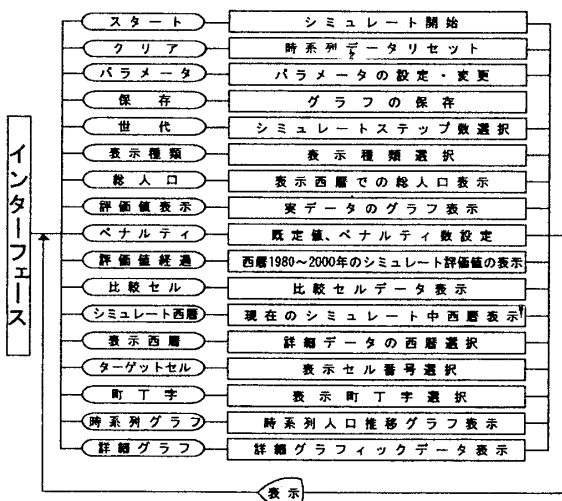


図6 システム機能図

### 4. システムの評価

本システムは、GIS を用いて汎用性・利便性の高い複層化 CA によるシステムを作成する目的で設計された。複層化 CA モデルと GIS をリンクし、解析部に Excel を導入することで、データ面・プログラム面での正確性、加工性の向上が見られた。データがあれば他の地域にも柔軟に対応することができる汎用性・利便性の高いシステムが構築されたと考えられる。これらを踏まえて、本システムは都市解析システムとして、以下の評価が与えられる。

- a) 対象地域の変更に柔軟に対応することができる。
- b) 利用者は簡単な操作で都市の解析が可能である。

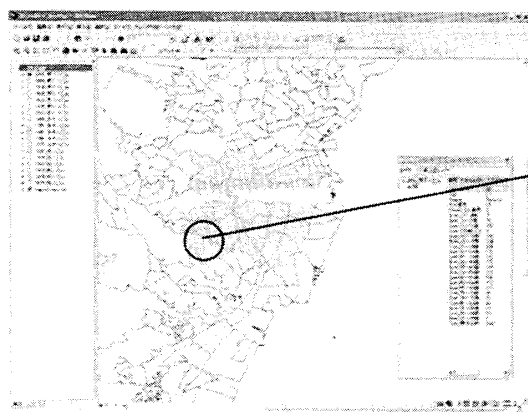
ただし、問題点も幾つかあり、以下の内容を検討しなければならない。i) 結果表示・操作面においても GIS と一体化したシステムの開発。[システム開発面の課題], ii) 解析対象領域を都市の中心地域(現在のモデル地域)から都市全域に広げたときの近傍規則式の妥当性。[解析モデル(規則式)の課題]

### 5. おわりに

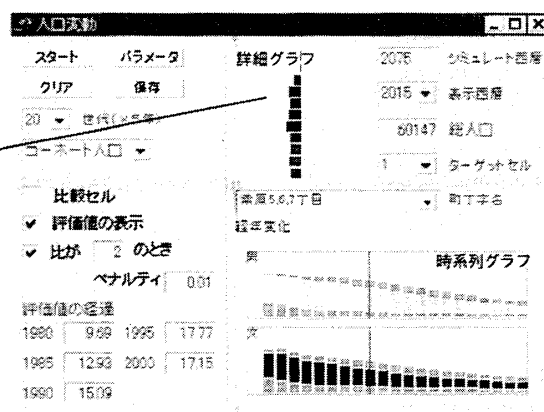
汎用性・利便性の高い複層化 CA による都市解析システムが構築された。今後、これを用いて地理的条件の異なる地域での解析・検討を実施し人口変動の傾向を確認したい。

#### 【参考文献】

- 1) 松永安光, 友清貴和, 本間俊雄, 福永知哉, 豊田星二郎:セルオートマトン法を用いた地方都市活性化(その1、2), 日本建築学会大会, 2001, 2002
- 2) 石川晃:市町村人口推計マニュアル 古今書院 1993
- 3) 石川義孝:人口移動の計量地理学 古今書院 1994
- 4) 加藤達也:生活の中の人口学 古今書院 1994



GIS 画面



システムメイン画面

図5 実際のシステムの画面

- \*1 鹿児島大学大学院 博士前期課程
- \*2 鹿児島大学教授・工博
- \*3 鹿児島大学助教授・工博

Graduate school, Dept. of architecture, Kagoshima univ  
 Prof., Dept. of architecture, Kagoshima univ, Dr. Eng  
 Assoc Prof., Dept. of architecture, Kagoshima univ, Dr. Eng