

GIS を用いた複層化セル・オートマトンによる 地方都市の解析システム

友清 貴和* 雪丸 久徳** 吉原 昌也*** 本間 俊雄*

AN ANALYSIS SYSTEM ON LOCAL MUNICIPALITY
BY A MULTI-LAYERED CELLULAR AUTOMATA USING GIS

Takakazu TOMOKIYO, Hisanori YUKIMARU, Masaya YOSHIHARA and Toshio HONMA

Japanese population is predicted to start decreasing early this century. This inexperienced phenomenon will most drastically appear in local municipalities. In order to establish planning for such municipalities facing new phase of development, most accurate demand estimation, that is totally different from conventional empirical method, will become indispensable. Therefore we propose an analysis system using a multi-layered cellular automata by GIS

Keywords : Urban and regional planning , Population fluctuation, Migration, Multi-layered cellular automata, GIS

1. 背景と目的

我が国の総人口は、2006 年を境に減少に向かう。その中で、人口規模のさほど大きくない地方都市の人口移動や人口変動による衰退は大きな社会問題を抱えている。人口減少に直面している現況において、狭いエリア毎の人口変動を予測し、それに見合った都市における各種需要を予測・推定することは、持続可能な活性化した都市・地域計画を進めるに当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¹⁾。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の汎用性がなく、地域情報の正確な把握が困難である。

その問題点を解決するために、GIS (Geographic Information System: 地理情報システム)を利用する。GIS と複層化 CA の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える。本論では、GIS を用いた汎用性・利便性の高い複層化 CA による地方都市の解析システムの開発に主眼をおき、システムの考え方をまとめる。さらに、開発した地方都市の解析システムを実際に鹿

2003 年 8 月 31 日受理

* 建築学科

** 博士前期課程建築学専攻

*** 建築学科研究生

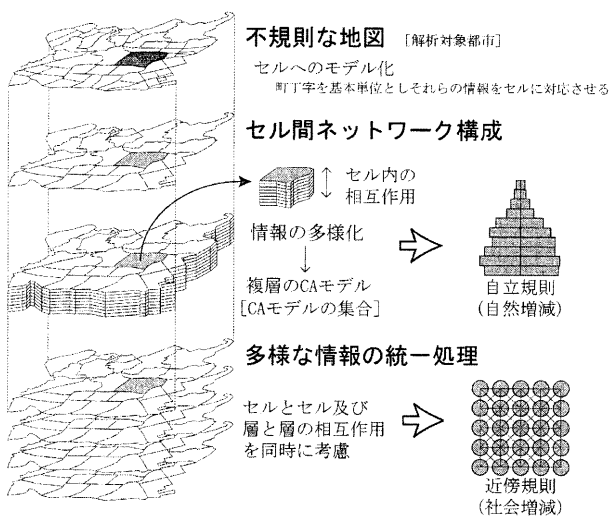
児島市全域に適用した場合について示し、システムを評価する。

なお、複層化 CA による地方都市の解析モデルの基本的な考え方は文献 1) を継承する。本論では、具体的な内容については省略し、その概略を述べる。

2. 都市解析モデルの考え方

2.1 複層化 CA の概念

都市解析モデルとして複層化 CA を用いる。図 1 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処理を可能とする。



図一 1 複層化 CA モデルの概念図

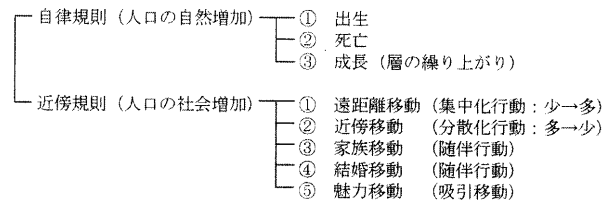
2.2 解析モデル

2.2.1 セル

セルは人口ピラミッドと同じ 5 歳間隔年齢別・男女別人口 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。

2.2.2 状態遷移規則

状態遷移規則の一覧を図 2 に記す。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。



図一 2 状態遷移規則一覧

$$\begin{aligned}
 \text{人口増加} &= (\text{出生} - \text{死亡}) + (\text{転入} - \text{転出}) \\
 &= \text{自然増加} + \text{社会増加} \\
 &= [\text{自律規則}] + [\text{近傍規則}] \quad (1)
 \end{aligned}$$

[自律規則]

各セル内での出生と死亡による人口変化及び成長による層の繰り上がり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。

[近傍規則]

計量地理学²⁾の視点の下、人口密度を指標とする 5 つの近傍規則を以下のように定義する。

① 遠距離移動(集中化行動)

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。

② 近傍移動(分散化行動)

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。

③ 家族移動(随伴行動)

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(随伴行動)

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(吸引行動)

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。

2.3 再現性の評価

自律規則と近傍規則を設定した複層化 CA モデルを用いて解析を行い、得られる解析結果を時系列で評価できる方法を規定する。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以下のように設定し、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。

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。

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。

3. GIS を用いたシステム化

3.1 GIS を用いる基本的な考え

複層化CAによる都市の解析モデルとGISをリンクさせる基本的な考え方は次のとおりである。GISの機能は多岐にわたっているが、その中でも複層化CAによる都市解析モデルとリンクするにあたり有効と思われる機能については大きく以下のことが上げられる。

- 1) 「位置」情報と異種の情報とを統合することができる。つまり、地図に大量の情報を格納することが可能であり、町丁字毎の5歳間隔年齢別・男女別人口など大量のデータを地図上で扱える。
- 2) 「位置」情報（各町丁字）に関連する各空間属性データ（人口データ等）を、表形式で格納できる。このデータ構造は、複層化CAのそれと同じであるため、都市解析モデルとGIS間で簡単にデータをやりとりすることが可能である。
- 3) 大量の情報を地図上で視覚的に扱うことができるため、地域情報の正確な把握を助けるとともに、データ処理面での作業効率や正確性が高まる。
- 4) 複数の空間情報をレイヤとして関連付けすることができる。様々な情報を統合し、分析し、表示することが可能であり、合理的な意思決定の支援が可能になる。解析対象範囲やセルの設定の自由度は大きく、合理的に作業を進められる。

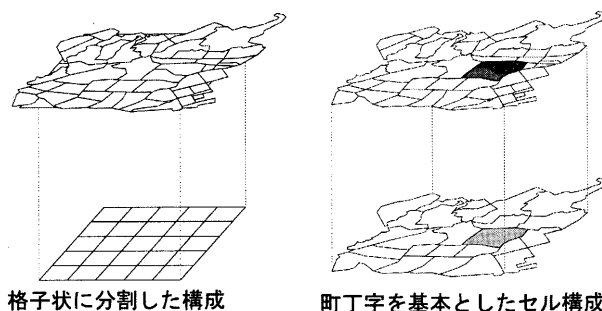
3.2 システム化により拡張された具体的な考え

GISを用いたシステム化により拡張された具体的な考え方について次のようにまとめる。

1) セルの構成

既往の複層化CAモデルでは、地図上の領域を格子状に分割したものを基準にセルを扱っており、モ

デルの汎用性がなく、地域情報の正確な把握が困難である。しかし、GISを用いることにより、地図上の領域を町丁字を基本とするセルに分割することができる（図3）。これにより、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

2) データ構造

GISにおいて、地図上の各セル（各町丁字）に関連する属性データ（人口データ等）は表形式で格納される。それらを基に、本システムでは全てのデータを表形式で保持する。これにより属性データの変更・追加、複層化CAモデル式の追加・変更に伴うプログラムの修正・加工などにも正確かつ迅速に対応できる。解析範囲の変更や他の地域への適用に柔軟に対応することができ、汎用性が高まる。

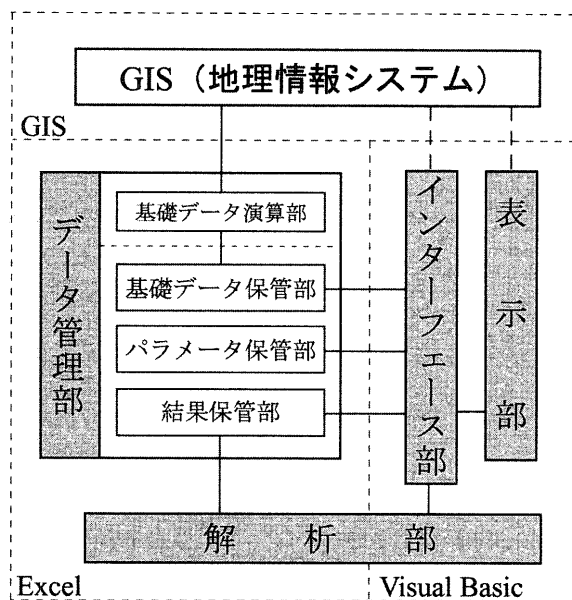
4. システムの内容

システム構成図を図4に示す。本システムは、GIS及び、独自に開発したデータ管理部、インターフェース部、解析部、表示部の4つの部門からなる。GISから結果表示に至るまでのデータの一連の流れは図5の通りである。GISから得られるセルのデータを解析用にデータ変換した後、データ管理部に保管する。インターフェース部で解析年やパラメータ等の条件を設定し、解析を実行する。解析部は、先に設定した各種条件やデータ管理部の基礎データを読み込み、それに準じて解析結果を導き出す。得られた解析結果はデータ管理部に格納され表示部の結果表示に用いられる。

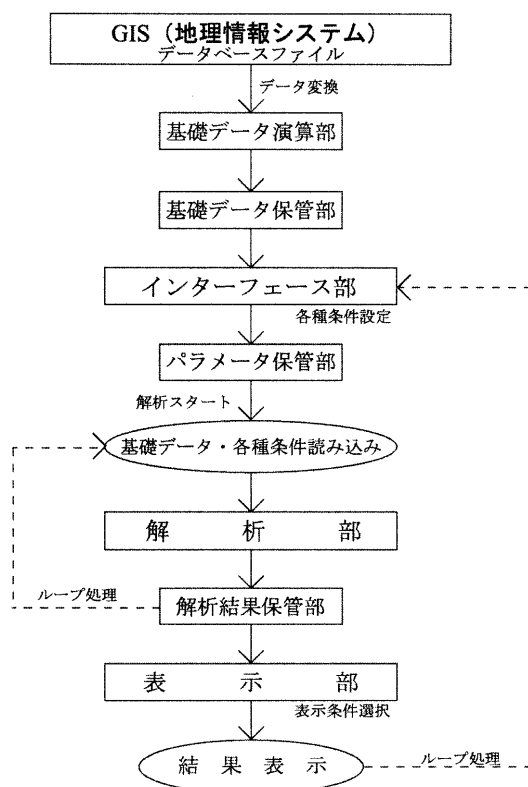
なお、本システムは、ArcView8.1.2^{注1)}、Visual Basic6.0^{注2)}および、Excel2000^{注3)}を用いて開発した。システムを構成する4つの部門について以下に記す。

1) データ管理部

データ管理部は「基礎データ演算部」「基礎データ保管部」「パラメータ保管部」「解析結果保管部」の4つの部分から構成されている。



図一 4 システム構成図



図一 5 データの流れ

GIS から得られる各セル（町丁字毎）の5歳間隔年齢男女別人口や面積等のデータ（DBF形式）をExcel形式に変換し、基礎データ演算部にてデータを演算（加工）した後に基礎データ保管部に格納する。また、解析の際に設定するパラメータ値や解析結果もそれぞれパラメータ保管部、解析結果保管部に格納される。

2) インターフェース部

本システムの機能を分類すると1) パラメータの設定、2) 解析実行と保存、3) 表示方法、セル、年の設定、4) 解析結果のグラフィックス表示の4つに分けられる。インターフェース部は、上に示すような各種条件設定や表示設定など、システムの操作パネル部分にあたる。GUI(Graphical User Interface)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。

3) 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（ $N \times 5$ 年）後の解析を行う。解析結果はExcel内のデータ管理部（結果保管部）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。

4) 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。

5. 鹿児島市への適用例

5.1 解析対象地(フィールド)

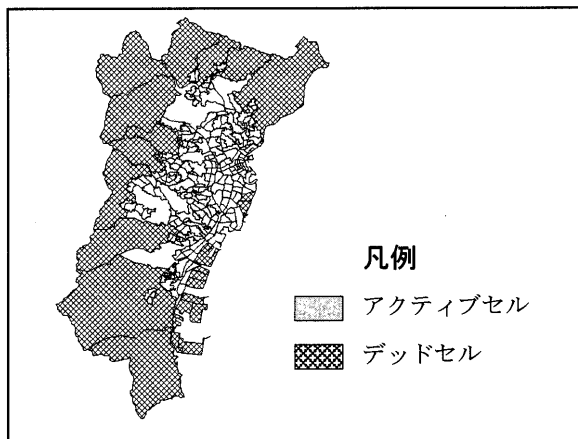
本研究では解析対象地の選定にあたり、地方都市の一つであるということと、本学の所在地でありデータや資料等が入手しやすいと考えられることからモデル地区として鹿児島市を選定する。

5.2 解析対象範囲とセルの設定

人口の出入りがほとんどないと予測される町丁字を初めに除外し解析対象範囲とする。解析対象範囲は以下のように決定する。

- i) 都市計画図の用途地域を参考に工業地区、準工業地区を含む町丁字を除く。
- ii) 鹿児島市の境界線沿いの山間部に位置し、非常に面積が広く、人口の少ない町丁字を除く。

この様に除外されたセルをデッドセル、解析対象として扱うセルをアクティブセルと定義する(図6)。



図—6 モデル地区（鹿児島市）

5.3 解析用データ

解析用データ（初期値）として1975年の国勢調査の人口データを用いる。また、解析結果の人口データと実際の人口データの適合度を現す評価値を解析結果に与えるために、1975年から2000年までの国勢調査（5年おき）の人口データを利用する。データは町丁字毎・5歳階級年齢別・男女別人口であり、全てExcelファイルで管理する。

本研究では、解析に用いるデータに対して、以下に記す条件を適用する。

- i) 解析には、各町丁字における、[0～4歳]から[100歳以上]までの5歳間隔年齢別人口から成る21層のデータを必要とする。データの中には、[65歳以上]の人口を1つの層として集計されている年度がある。一つの層として集計された65歳以上の人口は、各町丁字の各層の人口割合を導き出し、その割合に応じてそれぞれ分配する。
- ii) 男女別集計がされておらず、1つにまとめて集計されている年度がある。『鹿児島県統計年鑑』の男女別人口を基に各町丁字ごとの男女比率を求め、男女に分割する。
- iii) 鹿児島市は1974年からの住居表示変更によって町丁字名と町丁区界の変更が幾度も複雑に行われてきた。その名称と形状は過去のそれとは大きく異なる。それらを当時の住宅地図と住居表示変更に関する資料を基に、ある程度の人口誤差をやむを得ないものとし、データの再分配を行う。

5.4 実際の表示例

本システムを鹿児島市へ適用した際の実際のGIS画面及び、パラメータ画面、システムメイン画

面を図7、8、9にそれぞれ示す。システムメイン画面には本研究で新たに拡張された機能が2つある。拡張された機能を図9の中の下線で示す。

〔システムメイン画面の拡張機能〕

i) 比較表示チェックボックス

解析結果を比較するための比較表示チェックボックスを新たに設けた。これにより、人口ピラミッドグラフや時系列変化を表示するイメージボックスを2つに増やすことができ、解析結果を他のセルや他年度の同セルと比較することを可能とした。

ii) 町丁字名テキストボックス

システムユーザーはセル番号と町丁字名の組合せを把握しているとは限らない。セル番号は分からないが町丁字名は分かっている場合に、町丁字名によってセルの検索、グラフの表示を可能にする（図9）。

6. まとめ

6.1 まとめ

本システムは、GISを用いて汎用性・利便性の高いシステムを作成する目的で設計した。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、大量の人口データを表形式で保持することが可能となり、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。GISを用いたシステム化により、複層化CAモデルの汎用性・利便性が高まったといえる。また、それを実際に適用したことで、地図データと人口データがあれば、地域の変更や広域への拡張にも柔軟に対応できることを確認した。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。

- i) 対象地域の変更、拡大に容易かつ柔軟に対応することが可能である。
- ii) ユーザーは簡単な操作で都市の解析ができる。
- iii) 複数の結果表示方法によって多方面からの分析が可能であり、幅広い分野での利用が期待できる。

6.2 今後の見通しと課題

上記のような評価ができる一方で幾つか問題点が存在し、以下の内容を検討しなければならない。

〔システム開発面〕

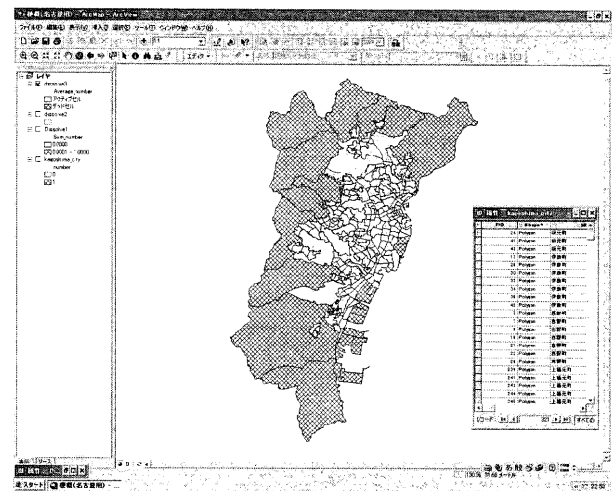
- i) 結果表示・操作面においてもGISと一体化したシステムの開発。
- ii) ユーザーを意識し、操作性と実用性を考慮したインターフェースと機能の開発。

iii) 解析部におけるコードの簡略化、それに伴う作業効率の向上、計算時間の短縮。

[解析モデル(規則式)]

- i) 系内外の人口転出入に関するデータを収集し、規則として妥当性の高いものにする。
- ii) 人口移動各規則式の妥当性の確認、最適パラメータパターンの算出のためのシミュレーション。
- iii) 地理的条件の異なる他地域での解析・検討を実施し、人口変動の傾向を確認する。現在、解析対象都市候補として九州圏内で人口 50 万前後の大分市と長崎市を挙げている。

本研究は平成 14 年度科学研究費基盤研究 (C) (2) (課題番号 14550616) の補助を受けたものである。記して感謝の意を表します。



図—7 GIS 画面

注記

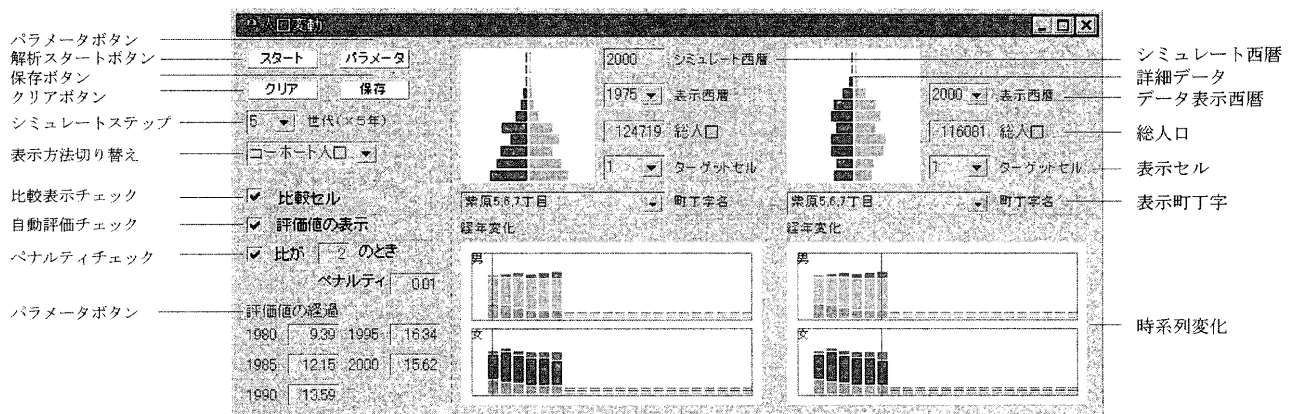
- 1) ArcView8.1.2はESRI ジャパン株式会社の登録商標
- 2) Visual Basic6.0 Professional EditionはMicrosoft の登録商標
- 3) Excel2000はMicrosoft の登録商標

参考文献

- 1) 本間 俊雄、友清 貴和、松永 安光、豊田 星二郎、福永 知哉、複層化セルオートマトンによる地方都市の解析モデル、日本建築学会計画系論文集、第 538 号、2003.6
- 2) 石川 義孝、人口移動の計量地理学、古今書院 1994



図—8 パラメータ画面



図—9 システムメイン画面