

複層化セルオートマトン法と地理情報システムを利用した都市の解析

- 鹿児島市の事例 -

正会員○雪丸久徳*¹ 同 友清貴和*² 同 吉原昌也*³ 同 本間俊雄*⁴

7. 都市計画-都市調査・都市解析

都市・地域計画, 都市解析, 人口移動, 複層化セルオートマトン, GIS

1. 研究の背景と目的

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、小規模な地域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法（以下複層化CA）を用いる。計量地理学の観点から人口変動に着目し、自律規則と5つの近傍規則を設定した複層化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^{文献1}。このため、複層化CAとGIS（Geographic Information System: 地理情報システム）の融合を図り、汎用性を有した都市解析システムを考える。GISによるシステム化は、正確な地域情報の把握と利便性を高め、広範囲における都市の解析が可能である。しかし、本解析モデルの解析対象範囲を都市全域に拡大して適用した際の、解析モデルや解析結果の信頼性を確立するには至っていない。

本論では、複層化CAとGISを利用した地方都市の解析システムを開発し、実際に鹿児島市全域(114セル)をモデルとする小規模な地域毎の人口推計による都市解析を行った事例を示し、解析対象範囲を拡大したときの複層化CAによる都市解析モデルの評価・考察を行う。

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や解析結果（再現性）の評価方法、及びGISを用いたシステム化についての基本的な考え方は、それぞれ文献1）、及び一連の研究論文を継承し、その具体的な内容は本論では省略する。

2. 解析モデル

都市解析モデルとして複層化CAを用いる。複層化CAの概念図を図1に示す。地図からセルへと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。このときセルは人口ピラミッドと同じ5歳年齢階級男女別人口21×2層の層状の人口を持つ。状態遷移規則について以下に説明する。

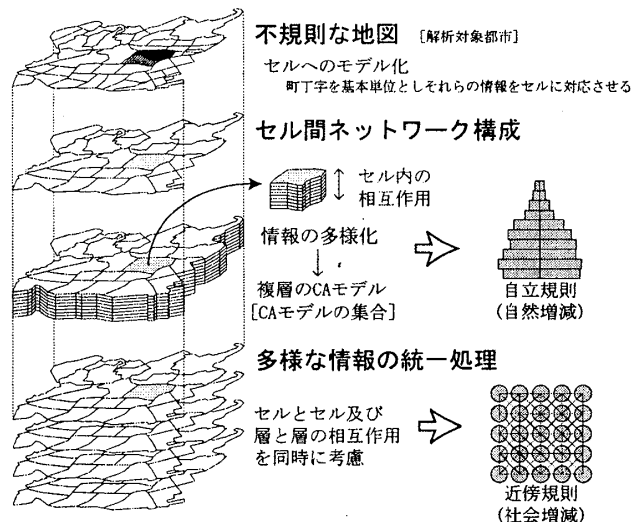


図1. 複層化CAモデルの概念図

[状態遷移規則]

状態遷移規則の一覧を図2に示す。状態遷移規則は人口増加を、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。

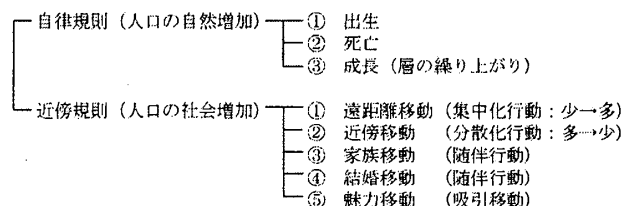


図2. 状態遷移規則一覧

〔評価方法〕

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する。

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）

全セルの一致度の平均より、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。ステップ毎の評価値の合計を総評価値とする。

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. 解析手順

解析手順を以下に記す。

- ①複層化CAとGISによる地方都市の解析システムを開発する。
- ②GISを用いて詳細な行政区画毎の人口・面積を集計する。同時に、解析対象範囲とセルの設定を行う。
- ③鹿児島市の過去25年間の人口データ、出生率・死亡率及び転出入率を初期値として解析モデルに与える。
- ④1ステップ5年として、1975年から2000年までの5ステップ25年間をシミュレート期間とし、鹿児島市114セルの人口分布の変化を予測する。
- ⑤解析結果の有効性を確認するために、再現性が時系列で確認できる「評価値」という数値的指標を用いて解析結果と統計〔実〕データを比較し、適合度の高いパラメータパターンを抽出する。
- ⑥解析結果の考察を行う。

なお、解析対象範囲を市全域に広げて都市解析を行うにあたり、市（解析対象範囲内）全体の人口転出入を考慮し、新たに「内外移動補正」ルールを設定した。内外移動補正の考え方について以下に述べる。

4. 内外移動補正

一連の研究における都市解析モデルは、全て解析対象範囲内のセル間で起こる現象を規則化したものであ

る。しかしながら、実社会においては解析対象範囲（鹿児島市）からの転出入が起こる。この移動を「内外移動」と定義し、解析モデルに組み込み、フィールド内の人口総数を補正する。内外移動補正の方法を以下に示す。

①内外移動による人口の増減数を年度毎の転出入率から求め、その人口補正量を各セルの人口密度に応じて割り振る。

②セルの全人口（補正）量に5歳年齢層男女別の転出入率を乗じて層に割り振る。

なお、内外移動による人口に対しても解析対象内の人口と同様に扱い、各種近傍規則を適用するために、内外移動補正は、近傍規則適用前に行う事とする。

5. 鹿児島市の事例

5-1. 解析対象地と解析用データ

〔解析対象地〕

解析対象地の選定にあたり、地方都市の一例として、本学の所在地でありデータや資料等が入手し易いと考えられることから鹿児島市を選定する。

〔解析用データ〕

5年置きに1975年から2000年までの国勢調査の人口データを用いる。基本となるデータ形式は町丁字毎・5歳年齢階級男女別人口である。データ形式の異なる場合、その年における市全域の5歳年齢階級別人口比率や男女比率を用いて補正を行う。

5-2. 解析対象範囲とセルの設定

解析対象範囲及びセルの設定は以下のような基準に沿って行う。

〔解析対象範囲〕

- i) 都市計画図の用途地域を参考に、人口の出入りがほとんどないと予測される工業地区、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、人口の少ない町丁字を除く。

〔セルの設定〕

- i) 住居表示の変更に伴う町丁字の名称や境界の変更を人口・面積データに反映させる。
- ii) 統計〔実〕データの精度を最優先し、住居表示変更に関する資料や各町丁字の地理情報を基に、ある程度の予測はやむを得ないものとし、GIS上で複数の町丁字を結合し、セルを設定する。

なお、本論では、セル設定のモデルとして、1975年時における鹿児島市の一町丁字を1つのセルとした。

除外されたセルをデッドセル、解析対象として扱われるセルをアクティブセルと定義し、鹿児島市におけるセル構成を図3に示す。

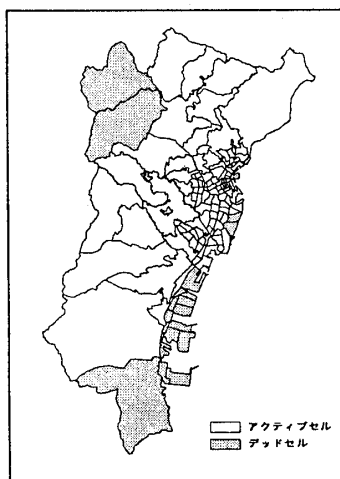


図3. 鹿児島市のセル構成

6. 解析結果と考察

まず、内外移動補正を導いたときの試行結果について、自律規則のみ適用した場合の試行結果と比較しながら考察を行う。自律規則のみ適用した場合のセルの評価値及びステップ毎の評価値を図4、5に示す。ペナルティの付加条件は $\lambda > 2$ とし、これを満たす総数 $\times \epsilon$ のペナルティを評価値に θ に加える。ここでは、 $\epsilon = 0.01$ とする。

6-1. 内外移動補正適についての評価

内外移動補正適用時と自律規則のみ適用したときの鹿児島市の総人口を比較すると、後者のほうが、統計[実]人口データに近い値を示す(図6参照)。このことより、解析対象範囲である鹿児島市(系)全体の人口補正が行われたといえる。しかしながら、ス

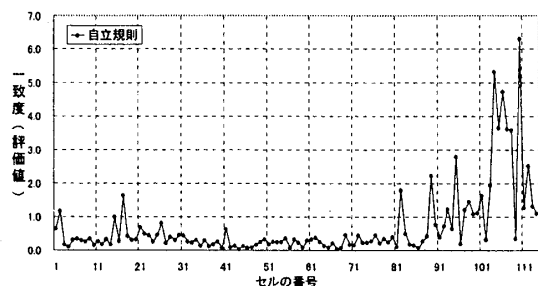


図4. 自律規則のみ適用時の各セルの評価値

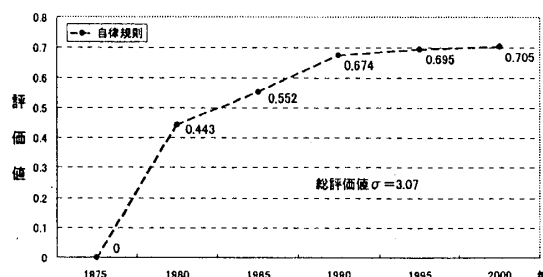


図5. 自律規則のみ適用時の時系列評価値

トップごとの実データとの一致度を表す時系列評価値は悪くなっていることがわかる(図7参照)。これより、内外移動による内外移動補正量の割り振り方に問題があることが伺える。評価値を悪くしていると思われる要因としては、年齢層(20~24歳)の転出率が、他の年齢層と比較して極端に高いにもかかわらず、その年齢層が集中している鹿児島大学等の大学周辺地域に特別な処理などを施すことなく補正の割り振ったことなどが挙げられる。今後、補正量の割り振り方を再検討する必要がある。

6-2. 単独試行

自律規則もしくは一つの近傍規則+自律規則による単独試行の結果、次のようなことを確認した。

6-2-1. 自然増減

図4に自律規則のみ適用したときの5ステップ後の各セルの評価を示す。セル毎の評価値を比べると、80番以降のセルで評価値が他と比べて高くなっている。これらのセルの多くは、宅地造成などの大規模開発を含むセルであり、後に急激な人口増加を遂げる山間部のセルであることを確認した。また、町丁字の名称や境界が複雑に変化したため、セルを設定する際、ある程度の予測により人口分配を行ったセルの評価値も悪くなっていることが明らかとなった。セル設定の方法に関しては、今後再検討すべき問題点の一つである。

6-2-2. 自律規則+近傍規則

単独試行では一次移動として、近接移動・長距離移

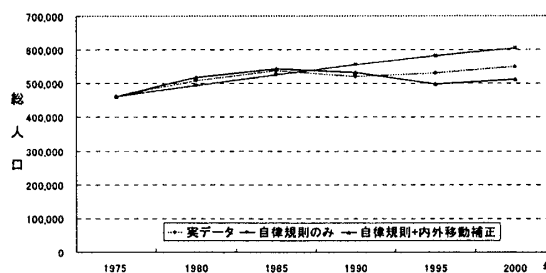


図6. 内外移動補正適用時の総人口の変化

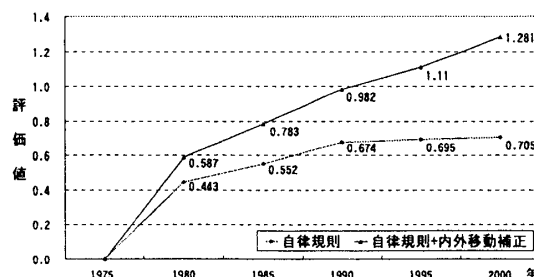


図7. 内外移動補正適用時の評価値の時系列変化

動・魅力移動における年齢適用幅や各種パラメータを変化させたときの時系列総評価とセル毎の評価値を用いて分析する。家族移動・結婚移動に関しては世帯主に随伴するルールを持ち、単独で試行しても効果を得られないため単独移動(近接・遠距離・魅力移動)で得られた最適解と連動させて試行する。

【一次移動(近接・遠距離・魅力移動)】

図8に近接移動の総評価値の変動を示す。図よりパラメータパターンによる総評価値の変動が確認できる。また、パラメータパターンによっては、自律規則のみで試行したときの評価値($\sigma = 3.07$)より低く、評価が良くなっていることがわかる。遠距離移動、魅力移動の解析結果については、自律規則のみ適用したときの評価値と等しいか、それより悪くなるという傾向を確認した。

【随伴移動(家族移動・結婚移動)】

図9は、一次移動に連動させて試行した家族移動の

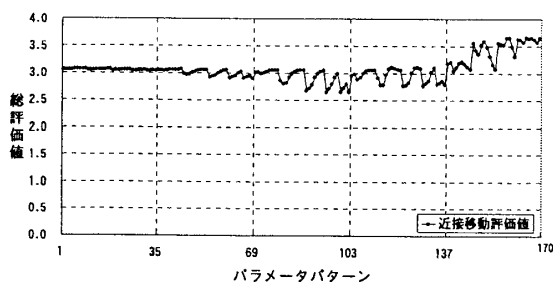


図8. 単独試行・近接移動の総評価値

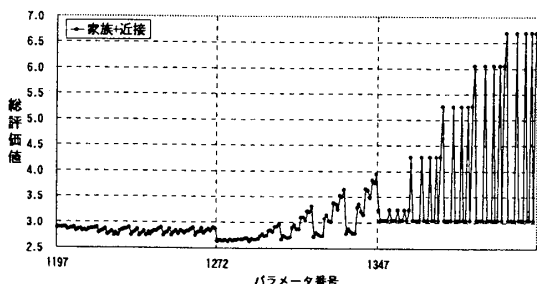


図9. 随伴移動(家族+近接)による評価値の変動

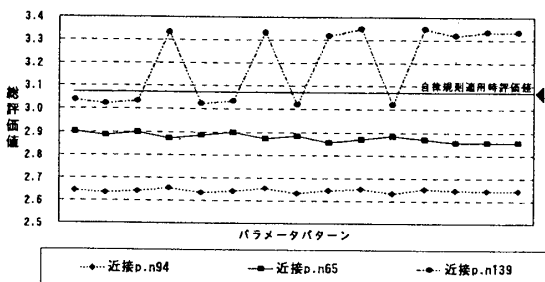


図10. 近接移動を含む複合試行による評価値の変動

解析結果である。家族移動、結婚移動のいずれの場合も近接移動と組み合わせたときに評価値の低下を促進することが明らかとなった。また、いずれの場合も遠距離移動、魅力移動と連動においては、挙動性が現れにくいことを確認した。

6-3. 複合試行

図10は、近接移動を含む複合試行における評価値の変動を示している。移動ルールのパラメータを固定し、組み合わせる近傍規則の数と種類を変化させたときの時系列評価値を考察すると、近接移動を含む場合に評価が良くなることが明らかとなった。一方、遠距離移動を含む場合、評価値を増加させ、評価を悪くすることが確認された。複合試行における魅力移動や随伴移動(家族・結婚)のルールの挙動性を確認することはできなかった。

7. まとめ

複層化CAとGISを利用した都市解析システム開発し、解析対象範囲を鹿児島市全域(114セル)に広げて都市解析を試みた。

シミュレートにより得られた評価値及び実データと解析結果の人口ピラミッド比較したことで、解析対象範囲を市全域に拡大しても、多くの地域で人口分布・構造の再現性を確認した。本研究による都市解析モデルは、地方都市レベルでの一次近次として応用可能である。今後、精度を上げるためには、以下のようなことを検討する必要がある。

- 1) ルールの挙動性確認と移動式の妥当性の確認
- 2) セル設定に関する問題解決。
- 3) 内外移動補正量の割り振り方の再検討
- 4) 地理的条件の異なる地方都市での試行

このような課題が改善されれば、従来の都市全体を対象とした人口推計だけでなく、都市における地域毎の人口分布・構造の把握が可能となり、都市・施設設計等の都市計画を進める上での補助システムとして機能することが期待される。

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

*1 鹿児島大学研究生
*2 鹿児島大学教授・工博
*3 鹿児島大学大学院
*4 鹿児島大学助教授・工博

*1 Research Student, Dept. of Architecture, Kagoshima University
*2 Prof., Dept. of Architecture, Kagoshima University, Dr. Eng.
*3 Graduate School, Dept. of Architecture, Kagoshima University
*4 Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Kagoshima University, Dr. Eng.