

複層化セルオートマトン法と GIS による 地方都市の人口変動予測システムと評価

友清 貴和* 吉原 昌也** 御手洗 政和** 本間 俊雄***

A POPULATION FLUCTUATION PREDICTION SYSTEM OF
THE LOCAL CITY BY MULTI-LAYERED CELLULAR
AUTOMATA AND GIS, AND ITS EVALUATION

Takakazu TOMOKIYO, Masaya YOSHIHARA, Masakazu MITARAI, Toshio HONMA

Using the population fluctuation prediction system by using multi-layered cellular automata and GIS, it applies to three local cities (Kagoshima city, Nagasaki city, and Oita city) and the feature of population change which each city has is shown. moreover, the availability in city planning is shown.

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

1. 研究の背景と目的

都市における各種需要は、狭い地域における人口構造の変化や人口移動に深く関連し、その影響を大きく受ける。少子高齢化が進行している社会構造において、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である。

著者等は、この考えに基づき文献 1)において、コーホート要因法及び計量地理学と、複層化セルオ

ートマトン法(以下 CA 法)を組み合わせた人口変動予測システムを開発した。さらに文献 2)において、CA 法の汎用性・利便性を高めるために、GIS (地理情報システム)と融合させ、様々な問題に対処できる解析システムの基礎モデルを開発し、解析システムの有効性と妥当性は鹿児島市を例に示している。しかし、地理条件、人口構造、交通などの要素が異なる他の地方都市での解析と結果の比較検討が必要である。本報告は、開発した解析システムを都市・地域計画の実務に応用させるため、3つの地方都市(鹿児島市・長崎市・大分市)を取り上げ、適用することで得られる解析結果より解析システムの適用範囲と特徴を把握する。以上の目的の下に、本報告の構成を示す。2章～4章は解析手順、解析システムの概要とセルの分割モデルについて示し、5章～8章は、シミュレーション結果からみるセル分

2004年8月31日受理

* 鹿児島大学工学部建築学科 教授・工博

** 鹿児島大学大学院 博士前期課程

*** 鹿児島大学工学部建築学科 助教授・工博

割モデルの評価と都市の地域特性を考察し、9章でまとめを行う。

2. 解析手順について

本解析システムを用いた地方都市の人口変動予測の手順を、都市における各種需要と供給の整備計画を例に説明する。

- 都市における各種需要量と供給量における問題点を把握する。
- 都市における人口データやデジタルマップを入手し、入力・確認・編集を行う。
- 人口データの欠落、複雑な地理情報、年毎に変化する住居表示等の状況を整理する。
- c)で整理されたデータを、GIS^{注1)}により、都市をセルにモデル化する。モデル化されたものをセル分割モデルと呼ぶ。
- セル分割モデルに属性値として人口データ、及び問題に応じたデータを関連付ける。
- GISにより各セルの重心座標・面積・隣接するセルの情報を取得し、Excel^{注2)}で整理・格納する。
- 移動規則に関する種々のパラメータの範囲を決めてシミュレーションし、評価の高い解のパラメータ群(以下、最良解と呼ぶ)を抽出するとともに、近未来の人口変動の傾向、人口分布、人口構造を予測する。
- h)における解析結果を1つの指標とし、都市施設の再編に役立てる。

解析システムの適用例には、都市の様々な問題が考えられる。例えば、少子化による小学校の統廃合を含めた再編計画、高齢社会における高齢者福祉施設の配置計画などがある。

3. システム概要

解析システムは、GIS及びExcelのマクロを利用したデータ管理部、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。各部門の構成及びデータの流れは図-1に示す。また、システムの詳細な記述は、文献2を参照されたい。

複層化CAによる基礎モデルは、図-2に示される状態遷移規則で構築される。状態遷移規則はモデル内における人間の動態を制御し、自律規則と近傍規則に大別される。自律規則は、セル内の成長・出生・死亡を表し、近傍規則は近接移動、遠距離移動、

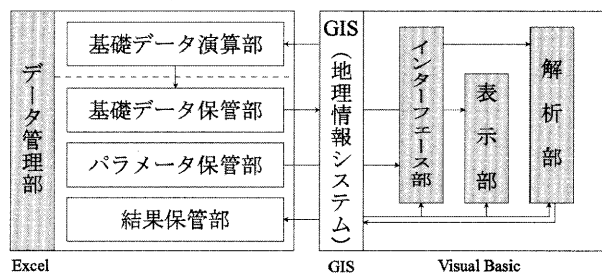


図-1 人口変動予測システムの構成図

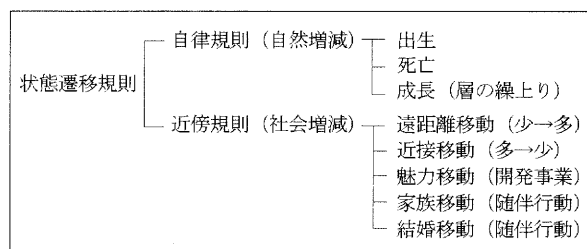


図-2 状態遷移規則

魅力移動、家族移動、結婚移動の5つの移動規則で表され、セル間の移動を制御する。これらの近傍規則は39個のパラメータを有する数式で表す^{文1)}。

4. 都市のセル分割モデル

解析は、鹿児島市、長崎市、大分市の3都市において適用し、図-4に示す5つのセル分割モデルにおいて実施する。3つの地方都市は、「鹿児島市と人口規模が同程度の地方都市」という選定基準のもとに、情報の入手が容易な九州内の都市の中から選定している。鹿児島市・長崎市ではモデルA・モデルBの2種類のセル分割モデルを用意し、大分市においては、行政の管理する人口データが不十分であるために、やむを得ずモデルAの1種類のみとした。また、市内であっても工業・準工業地域と人口密度が著しく低く人口の流入出が無視できる山間部の地域をデッドセルと定義し、解析対象から除外する。図中の魅力セルは、大規模な開発事業が行われた地域であり、各都市の行政で頂いた開発事業一覧における開発規模・施工期間を下に設定する。また、CNとは(Cell Number)の略でセルに割り当てられた固有の番号を表す。モデルA・モデルBの説明は次の通りである。

モデルAは、小学校区に準じたセル分割モデルである。魅力セルは、鹿児島市では星ヶ峰ニュータウンを含むCN.036、長崎市では矢上団地を含む

CN.030、大分市では富士が丘ニュータウン・緑が丘団地を含む CN.033 と設定した。

モデル B は、行政区画の最小単位である町丁字を 1 個のセルとして捉えたモデルである。人口データの精度を優先し、住居表示変更に伴う人口データの欠落、町丁字境界の変更を考慮したうえで、1975 年の町丁字を基本とするセルを設定した。魅力セルはモデル A と同じ開発地域を選択し、鹿児島市では CN.105、長崎市では CN.002 と設定する。

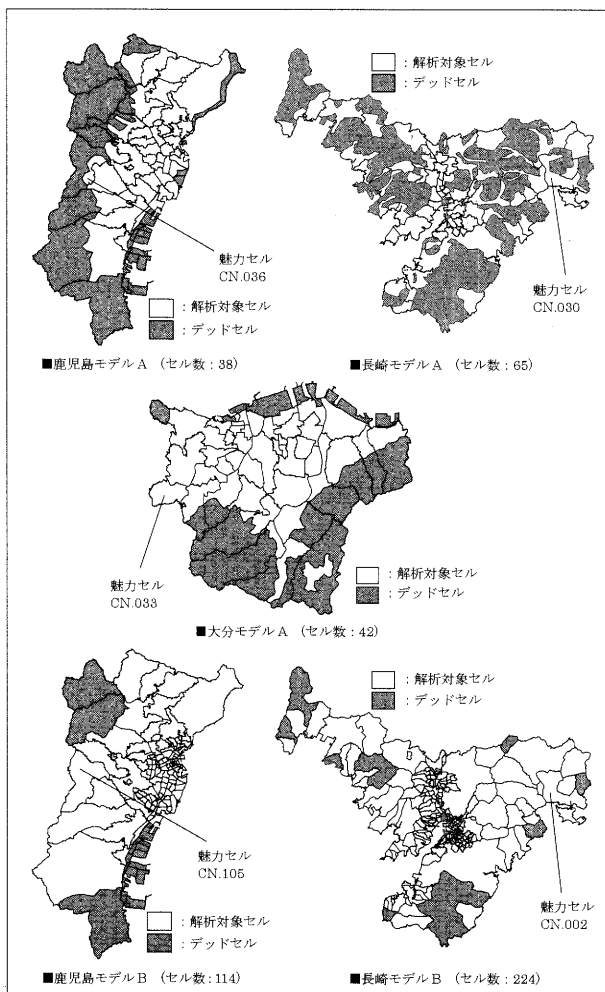


図-4 地方都市のセル分割モデル

5. 解析内容

解析システムは、複層化 CA による人口変動予測モデルに組み込まれた 5 つの移動規則(近傍規則)に含まれる 39 個のパラメータを変化させ、1975 年～2000 年(5 年おき)の人口変動解析を行う(規則・パラメータの詳細は文献 1 参照のこと)。これらのパ

ラメータの値はそれぞれの移動規則の発現強度や適用範囲に関係し、解析結果に影響する。パラメータの許容範囲は、5 つの移動規則を単独に試行して決定する。各パラメータ値は、得られた許容範囲を等間隔の適当な離散量で与える。解析結果の評価は、平均偏差量と類似の計算を基準とした評価値(年齢層毎、セル毎、5 年毎の各評価値の合計)を用いる。ただし、各モデルにおける評価値は、絶対的な評価を表すわけではない。解析では、まず自律規則のみを適用した場合の試行を行う。次に各移動規則の単独試行を実施する。単独試行では、それぞれの移動規則のパラメータを変化させ、有効なパラメータ範囲を同定する。複合試行は、単独試行で絞り込まれた各パラメータの有効な範囲内の離散的な値に対する全ての組み合わせで解析を行う。複合試行で最も評価の良かったパラメータの組み合わせ(最良解)を求める。

6. 解析結果

解析結果は、表-1、図-5 に示す。表-1 は、各セル分割モデルの最良解と最良解適用時における総評価値である。なお、鹿児島モデル A、長崎モデル A、大分モデル A においては、解析より複数の解が得られたが、本報告では説明が煩雑になるために省略する。表-1 における代表的なパラメータの定義について以下に簡単に示す。

■人口比パラメータ(5,6,12)

移動者の目的地選択に対する居住環境(地価の安さ)への意識の程度を表現している。

■距離パラメータ(11,23)

移動者の移動距離への敬遠の程度を表している。

■集中パラメータ(22)

人口がどの程度、開発地に流入するかを表している。

■移動率(32,33,34)

随伴移動において、子、親、妻が世帯主に付随して移動する割合を百分率で表している。

次に図-5 は、最良解における各モデルのセルの評価値を地図上に表現したものである。色が濃くなるほど評価値の絶対値が高くなり、値は凡例に従う。また斜線部はデッドセルを表す。

7. 解析結果の比較

解析結果の比較は、セル分割モデルの比較と都市の比較の 2 通りを行う。大分市はモデル B を持た

ないため、セル分割モデルの比較は、鹿児島市、長崎市においてのみ行い、都市の比較はモデル A のみで行う。また、表-1 より最良解・総評価値、図-5 よりセル評価値を比較の基準とする。

7.1 セル分割モデルの比較

1. 鹿児島市

まず、表-1 の最良解を比較する。モデル A はモデル B よりも総評価値が低い。またモデル B の最良解は近接移動と魅力移動の組み合わせであるが、モデル A は加えて家族移動・結婚移動が組み合わされている。次に、図-5 のセル評価値を比較する。鹿児島市では、両モデルとも市街地における評価値は 1.0 未満で低い。一方、郊外においては両モデルにおいて評価値は高くなるが、その傾向はモデル B の方が顕著である。

2. 長崎市

長崎市は、鹿児島市とは傾向が異なり、モデル B において最良解に全移動規則を含むが、モデル A

は近接移動と魅力移動のみである。

セル評価値は鹿児島市と同様の傾向を示し、市街地で高く、郊外部で低くなっている。

7.2 地方都市の比較

都市の比較はセル分割モデルの揃っているモデル A を用い、最良解でのパラメータ(表-1)で行う。

まず、5 つの状態遷移規則の組み合わせを比較すると、近接移動と魅力移動はすべてのモデルで適用されているのに対し、逆に遠距離移動はすべてのモデルで適用されていない。また、家族移動は鹿児島市のみに、結婚移動は鹿児島と大分に適用されている。

次に、適用された状態遷移規則の各移動規則のパラメータを比較する。

① 近接移動

人口比パラメータの値が長崎と大分が 0.4 であるのに対し、鹿児島は 0.6 と少し高い値となっている。

② 魅力移動

集中パラメータと距離パラメータがあるが、3 つのモデルともに大きなばらつきがある。

表-1 各セル分割モデルの最良解

状態遷移規則	パラメータ		鹿児島モデルA	鹿児島モデルB	長崎モデルA	長崎モデルB	大分モデルA
	種別	番号					
近接移動	年齢層(歳)	1	0~4	0~4	20~24	0~4	0~4
		2	60~64	60~64	60~64	60~64	60~64
		3	0~4	0~4	20~24	0~4	0~4
		4	60~64	60~64	60~64	60~64	60~64
	人口比	5	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4
		6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4
遠距離移動	年齢層(歳)	7				3	
		8				19	
		9				3	
		10				19	
	距離	11				1	
		12				12	
密度順位	13				1		
	14				1		
魅力移動	開発地区	15	36	105	30	2	33
	開発期間(年)	16	1975	1975	1975	1975	1975
		17	1990	1990	1990	1990	1990
	年齢層(歳)	18	0~4	0~4	0~4	0~4	0~4
		19	40~44	40~44	40~44	40~44	80~84
		20	0~4	0~4	0~4	0~4	0~4
		21	40~44	40~44	40~44	40~44	80~84
	集中	22	1	1.5	5	2	4
23		0	1.7	1.5	2.1	1	
家族移動	年齢層(歳)	24	40~44			20~24	
		25	50~54			20~24	
		26	40~44			20~24	
		27	50~54			20~24	
		28	60~64			40~44	
		29	70~74			40~44	
	移動率	30	20~24			0~4	
		31	30~34			0~4	
結婚移動	年齢層(歳)	32	0.2			0.15	
		33	0.2			0.15	
34		0.2			0.15		
35		15~19			35~39	25~29	
移動率	36	25~29			45~49	25~29	
	37	15~19			35~39	25~29	
	38	25~29			45~49	25~29	
	39	0.15			0.3	0.7	
総評価値		2.239	2.566	1.975	2.216	2.663	

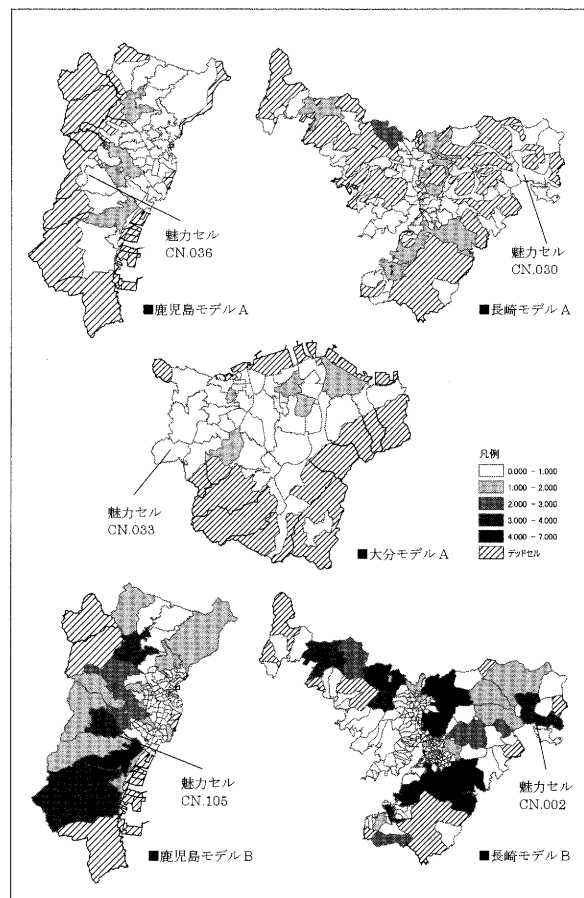


図-5 最良解適用時のセル評価値

③ 家族移動

家族移動は鹿児島のみで適用されている。年齢層より魅力移動ではなく近接移動をより随伴していることが分かる。これを現実置き換えると、40～50歳の夫婦とその家族が良好な居住環境を求めて移動しているということになる。

④ 結婚移動

結婚移動は鹿児島と大分で適用されている。大分の移動率パラメータの0.7という値は、家族移動を含めた随伴移動の移動率のなかでも非常に高い値である。これは、若い夫婦(25～29歳)のみで移動する割合が高いことを意味する。

8. 考察

8.1 セル分割モデルの考察

最良解では、両都市に共通した傾向は見られないため、両モデルの特徴を言及することは難しい。一方、セル評価値による比較では、モデルAは、最良解を適用した場合においてモデルBより全体的にセル評価値が低い。また、郊外部を除いた市街地では、両モデル共に各セルの評価値が1.0未満で近似している。これらの傾向は、自律規則のみを適用した場合にも確認できる。すなわちセル分割モデルの比較より、以下に示す2点が考えられる。

1. モデルAは、モデルBよりもデッドセルの設定を厳密にしていることを踏まえるとデッドセルを厳密に設定することによって、人口の再現性が高まることが予想される。
2. 郊外を除いた市街地に限定してみた場合、両モデルの人口再現性に大きな差はない。

この2つの考察を総合すると、市街地は、郊外に比べ、人口変動を捉えやすいということである。本来、郊外の転出入は、都市における人口移動にさほど影響を与えない。さらに都市計画は市街地を中心に行われ、郊外は計画対象になることは少ない。すなわち解析対象域を市街地に限定することで、大きな支障もなく都市の人口変動を捉えることができると考える。ただし、郊外の人口変動として、大規模住宅開発が考えられ、急激な人口の転入出が予想される。このような特殊なケースの場合においては、解析対象域を市街地のような人口が集中する地区に限定したモデルが良いと考えられる。また、開発が行われる場合は、対象となるセルをモデルに付加する。このように、適切なセル分割モデルを与えることで様々な問題に柔軟かつ適切に対処できる

と予想される。

8.2 都市の考察

①近接移動

近接移動で定義する良好な居住環境は、人口が集中していない(地価の安い)近隣の地区である。鹿児島の人口比パラメータが高いということは、鹿児島市の住民が居住環境(地価の安さ)への意識が高いことを表している。その理由は、鹿児島市の地価の高さにあると考えられる。鹿児島市の平均地価は、長崎市、大分市の平均地価と比べて、非常に高い価格で、九州では福岡市に次ぐ2番目の高値である³⁾。このことが、より地価の安い場所への移住を意識させる要因と考えられる。

逆に長崎・大分における近接移動の効果が低い理由について考える。まず、長崎市は、市街地の7割が斜面地という地理的条件にある。このことを踏まえると、人口密度が低い近隣のセルが周辺にあったとしても、そのセルが斜面地であれば、住環境の改善に繋がるとは考えにくい。事実、非斜面地での顕著な高齢化や交通の便の悪さ、防災上の安全性について問題になっている⁴⁾。すなわち、斜面地から非斜面地への移動の方が現実的に住環境の改善に繋がると考えられる。つまり、長崎市では、近傍地域への人口の分散化が広い範囲では起こりにくく、近接移動で実際の人口変動を捉えることが困難であると云える。

大分市の場合は、セル分割モデルに関係している。鹿児島と長崎の平均セル面積が3.15km²および1.72km²であるのに対し、大分の平均セル面積は4.84km²と非常に大きい。これによって、狭い領域での近接移動が、自律規則に吸収されてしまったのではないかと考えられる。

②遠距離移動

人口の集中化を表現している遠距離移動は適用されていない。事実、3都市ともに都心部での人口の空洞化が進んできている。表1に掲載されていない最良解の中には、鹿児島市で適用するケースがあるが、どれも適用されないケースと遠距離移動以外のパラメータが一致していることから、遠距離移動の効果は得られていないといえる。

③魅力移動

魅力移動については集中パラメータと距離パラメータを中心に考察する。

まず、鹿児島市は、集中パラメータ1.0、距離パラメータ0.0となっている。この数値が表すのは市の

広い範囲から平均的に人口が集まっているということである。魅力移動の移動先である皇徳寺ニュータウンは地価が市の平均程度と決して安価ではなく、交通の便が悪いことなどからそれほど人々が惹きつけられず、集中パラメータが1と低い値となったものと推測できる。

長崎市の魅力セルに設定されている矢上団地は周囲を山に囲まれ、海に面した平地である。環境や景観が良いという住民の評価からも魅力の高いセルであるといえる。このことが、集中パラメータが5という高い値になった要因と考えられる。また、距離パラメータの値は1.5と比較的高い値である。この値が高いということは、比較的近い距離からの移動が多いことを意味している。先にも述べた通り長崎は土地の多くが斜面地である。目的地に向かうには坂道を蛇行し、山を越えて行かなければならない。それは、実際の直線距離と住民の感じる距離に非常に大きな誤差を生じさせることが考えられる。よって、ある程度近いセルからの移動が多くなっていると予測できる。

大分市の魅力セルに設定されているのは富士見が丘ニュータウンと緑が丘団地を含む地区である。この地区の住民に対するアンケート調査によると、市平均と比べて現状への満足度が高い傾向にあり、特に居住環境の快適さや安全性、自然の豊かさに対する満足度が高い⁵⁾。こうした現状が高い魅力の要因となり、集中パラメータが4という高い値になっていると考えられる。また、中心市街地から離れた場所にあることから、距離パラメータも1.0と、鹿児島市よりも高い値となっている。

9. まとめ

本報告は構築した人口変動予測モデルによる3都市・2種類のセル分割モデルを用いた解析を実行した。結果よりセル分割モデルの評価と都市の比較の考察を行い、問題設定に応じたモデル構築の必要性と鹿児島市・長崎市・大分市の地理的特徴を踏まえた人口変動の特徴を示すことができた。以上のことから、セルのモデル化の評価が次のように与えられる。

- 1) 最良解を用いることで、1次近似として近未来の都市の人口変動をある程度再現できる。
- 2) パラメータの内容より、都市毎の人口変動の特徴を提示できる。
- 3) 都市活性化の利用目的に対応した人口変動予測

モデルにより、近未来における都市の問題を的確に把握し、柔軟に対処できることが期待できる。

課題には、セル分割モデルの作成および決定の方法が挙げられる。鹿児島市においては、地域情報が入手しやすく、セル分割モデルの決定が容易であった。しかし、長崎市・大分市では、それらの情報が不足しているために、デッドセルの設定が適切とはいえない。よって、各都市の地理情報を十分に把握するために、現地での住民に対するアンケート調査、地形の調査などが必要である。

今後の展望は、都市の各種問題に対して狭域と広域の解析モデルを適用し、実務に応用できる都市計画への利用事例を提示することを考えている。

謝辞

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。また、人口データ等の各種資料を提供して頂いた鹿児島市、長崎市、大分市の職員の皆様、資料をお送り頂いた担当者の方々にも謹んで御礼申し上げます。

注記

- 1) ArcGIS8.1.2はESRIジャパン株式会社の登録商標
- 2) 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」, 日本建築学会計画論文集, 第538号, 93-100, 2003.6
- 2) 友清貴和, 雪丸久徳, 吉原昌也, 本間俊雄: 「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」, 鹿児島大学工学部研究報告, 第45号, 39-44, 2003
- 3) 「土地総合情報ライブラリー」, 国土交通省 (URL: <http://www.tochi.nla.go.jp/>)
- 4) 「よかまちづくり長崎」, 長崎市役所まちづくり (URL: <http://www1.city.nagasaki.nagasaki.jp/machidukuri/index.html>)
- 5) 大分市ホームページ (URL: http://www.city.oita.oita.jp/cgi-bin/odb-get.exe?WIT_template=AM040000)