

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その評価

正会員○吉原昌也^{*1} 同 御手洗政和^{*1} 同 友清貴和^{*2} 同 本間俊雄^{*3}

7. 都市計画—2. 都市と地域

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

少子高齢化に伴う人口減少と縮小経済に対して質の高い住民生活を守ってゆくには、総合的に、これに見合った社会資本の整備と新しい社会概念の確立が必要である。これを地域において実践するには、地域の原単位であった市町村という既存の行政圏域にとらわれず、もっと住民に密着した町丁字区や小学校区・中学校区などの狭域圏と複数の市町村が集聚して経済効率化を目標とする広域圏との複眼的思考が必要である。

著者等は、この考えに基づき文献1)において、コ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をする必要がある。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。

2. 解析手順について

本システムを用いた地方都市の人口変動予測の手順を簡潔に説明する。

- 都市における各種需要量と供給量に関する問題点を把握する。
- 情報を収集し、GISによって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」と呼び、問題に対応した広域モデルと狭域モデルを設定する。

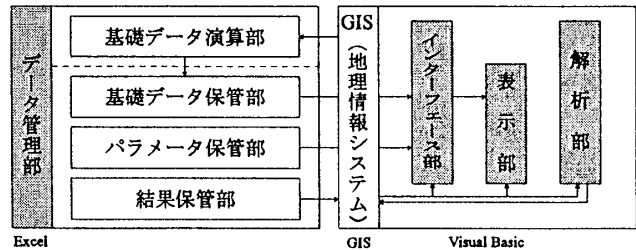


図1. 人口変動予測システムの構成図

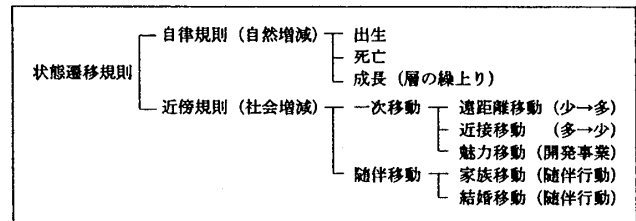


図2. 状態遷移規則一覧

- 解析を行い、評価の高いパラメータ群(以下、最良解と呼ぶ)を抽出して近未来の人口変動の傾向、人口分布、人口構造を予測する。
- c)で得られた解析結果を1つの指標として都市の問題解決に役立てる。

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。例えば狭域モデルの場合は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が挙げられる。

3. システム概要

解析システムは、GIS^{註1)}及びExcel^{註2)}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。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。近傍規則は39個のパラメータを有する数式で表す。

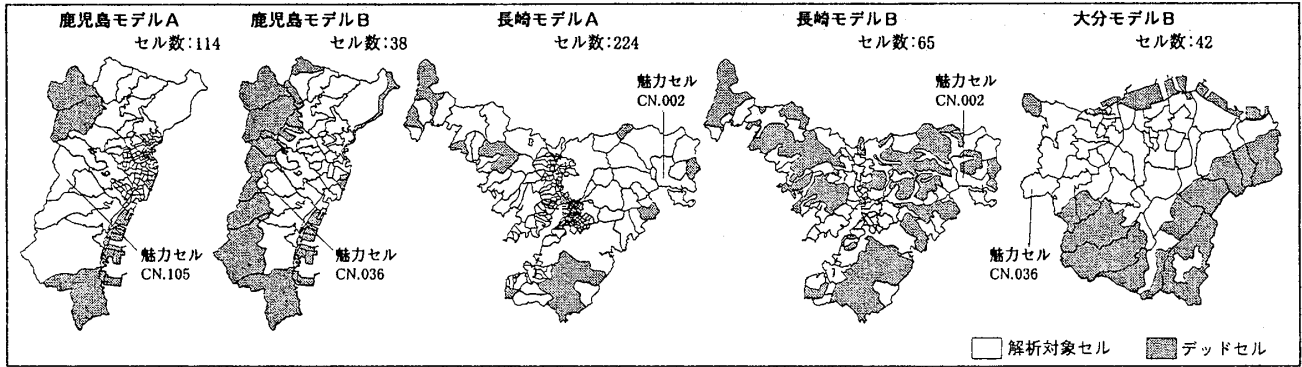


図3. 地方都市のセル分割モデル

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3に示す5つのセル分割モデルを用いる。セル分割モデルはモデルAとモデルBの2種類を用意する。モデルAは行政区画の最小単位である町丁字を1個のセルとしたモデル(広域)であり、モデルBは小学校区に準じたモデル(狭域)である。ただし、大分市は行政が管理する人口データが不十分であるためモデルBのみとする。図中の魅力セルは大規模な開発事業が行われた地域で、魅力移動によって人口が流入するセルである。また、解析において無視できる地域をデッドセルとし、解析対象から除外する。

5. 解析方法

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近傍規則に含まれるパラメータを変化させ、1975年～2000年の人口変動解析を行う。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とする。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、各モデルの評価値は、絶対的な評価を表すものではない。解析は、まず各移動規則の効果を比較する指標として自律規則のみを適用し、試行する。次に各移動規則の単独試行を行う。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計算する。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)を同

表1. 各セル分割モデルの最良解

パラメータ	モデルA				モデルB				
	鹿児島	長崎	鹿児島	長崎	大分	大分	大分	大分	
近接移動	年齢層(歳)	男	0~4	0~4	0~4	0~4	0~4	0~4	0~4
		女	60~84	60~84	60~84	60~84	60~84	60~84	60~84
	人口比パラメータ	男	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
遠距離移動	年齢層(歳)	男	10~14	90~94					
		女	10~14	90~94					
	距離パラメータ		1.0						
	人口比パラメータ		12.0						
	密度順位		1						
	距離順位		1						
魅力移動	開発期(年)	1975	1975	1975	1975	1975	1975	1975	
		1990	1990	1990	1990	1990	1990	1990	
	年齢層(歳)	男	0~4	0~4	0~4	0~4	0~4	0~4	0~4
		女	40~44	40~44	40~44	40~44	80~84	80~84	80~84
集中パラメータ	男	1.5	2.0	1.0	1.0	5.0	1.0	4.0	
	女	1.7	2.1	0.0	0.0	1.5	1.0	1.0	
家族移動	年齢層(歳)	夫	20~24	40~44	40~44				
		妻	20~24	50~54	50~54				
		親	20~24	40~44	40~44				
		子	40~44	50~54	50~54				
	移動率(%)	妻	0.2	0.2	0.3				
		子	0.2	0.2	0.3				
結婚移動	年齢層(歳)	夫	35~39	15~19	15~19	15~19	25~29	25~29	
		妻	45~49	25~29	25~29	25~29	25~29	25~29	
	移動率(%)	妻	0.3	0.2	0.2		0.5	0.7	
パターン番号	19,487	104,647	22,434	22,452	15,867	18,084	5,831	5,832	
総評価値	2,566	2,216	2,239	2,239	1,975	1,975	2,663	2,663	

表2. 代表的なパラメータ

種類	近傍規則	内容
人口比パラメータ	近接移動	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	魅力移動	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	魅力移動	人口がどの程度、開発地に流入するかを表している。
移動率パラメータ	家族移動 結婚移動	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。

定する。複合試行の計算は133,663通りとなった。

6. 解析結果

解析結果を表1、図4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の総評価値である。表1における代表的なパラメータの定義を表2に示す。図4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る。

7. 考察

解析結果は、セル分割モデルの比較と都市の比較の2通りで比較する。大分市はモデルA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

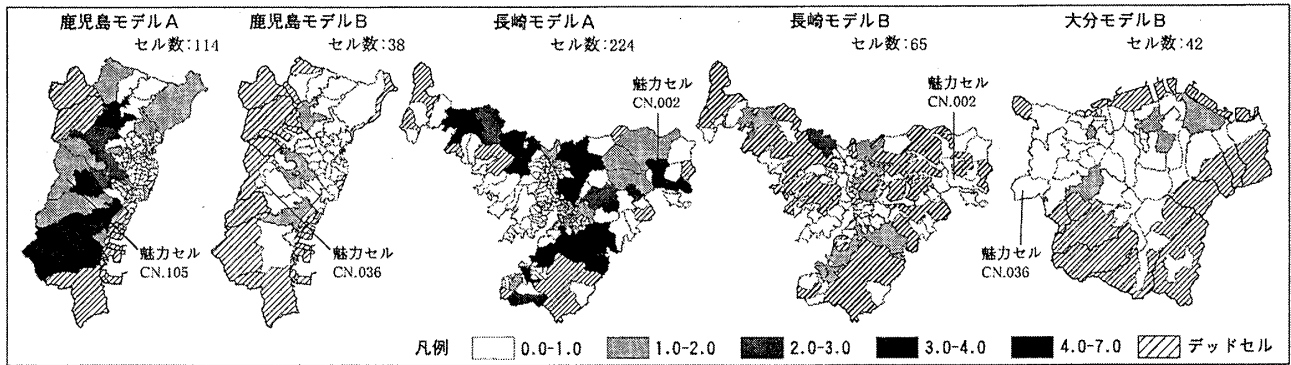


図4. 最良解適用時のセル評価値

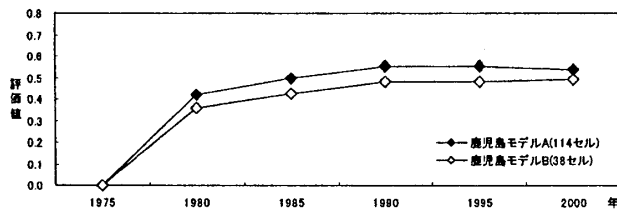


図5. 最良解評価値推移 (鹿児島)

いてのみ行い、都市の比較はモデルBのみとする。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した。

7.1 セル分割モデルについて

モデルAの最良解は1つしか得られなかったのに対しモデルBは複数の解が得られた。これは比較的セルの大きいモデルBのセルに必然的に多くの人と地域性が複雑に存在するためである。また、総評価値を比較するとモデルBの方が良い評価が得られた。

魅力移動の最良解を比較する。年齢層は同じであるが、集中パラメータ、距離パラメータが異なりモデルAの値が共に高い。これは近隣のセルから人口が流入することを意味している。これに対してモデルBの値が低いのは、魅力セルが周囲のセルと統合して大きくなったためである。あるいは、家族移動と結婚移動に移動量が分散したと考えられる。

図5は鹿児島の最良解評価値推移を示している。図5より、1980年以降はモデルAとモデルBの評価値推移の様子は酷似している。モデルBが低い値にあり、長崎も同じ傾向を示す。

最良解適用時におけるセル評価値の比較を行う。郊外部を除いた市街地では両モデル共にセル評価値が1.0以下のセルが多く大きな差はない。逆に山間部のセルではモデルBの方が格段に評価値が低い。これがモデルAとモデルBの総評価値の差にも繋がっている。この傾向は自律規則のみ適用時にも確認できる。

上記の結果から以下の知見が得られた。

- 1) 同じ都市であればセル分割モデルが異なっても同じ様な傾向を示す。
- 2) 評価を悪くしている山間部などのデッドセルを厳密に設定することでより現実に近い人口密度を得ることができる。
- 3) 郊外を除いた市街地に限定してみた場合、モデルAとモデルBの人口再現性に大きな差はない。
- 4) 2つのセル分割モデルの最良解は異なる結果になり、それぞれの人口移動の特徴を明確に表す。

以上の4点を踏まえ、利用目的に応じたセルの範囲を検討し適当なセル分割モデルを与えることで、広域・狭域両方に関連する様々な問題に柔軟かつ適切に対処できる。

7.2 地方都市の比較

まず、最良解における近傍規則の組み合わせを比較する。表1より、3都市に共通している点を2点挙げる。一つ目は最良解に近接移動と魅力移動が全てのパターンで適用されている。これは実際の人口移動に与える影響が大きいことを表している。二つ目の共通点は遠距離移動が適用されていない点である。遠距離移動は人口の集中化を表現する。つまり3都市の都心部で人口の空洞化が進んでいることを表している。

随伴移動は、結婚移動に対し家族移動の適用数が少ない。これは核家族化の傾向を示す結果である。

次に、各移動規則のパラメータの値を比較する。

①近接移動：人口比パラメータを比較すると、長崎と大分の[0.4]に対し、鹿児島は[0.6]と高い値を示す(表1)。この結果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意味する(表2)。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く、九州では福岡市に次ぐ高値である。こ

れが、鹿児島市民により地価の安い場所への移住を意識させる要因である。鹿児島市は、市の総人口は増加してきたが、市街地中心部の人口は減少している。これを、鹿児島市における人口の分散化と捉えられる。この結果は、近接移動が実際に起こった人口分散化をある程度再現したものである。

長崎市・大分市で近接移動の効果が低い理由は次のように推測する。

長崎市は市街地の7割が斜面地である。住民が居住環境の改善を考えた場合、近隣の斜面地へ移住する可能性は低い。よって、長崎市は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いえる。

大分の場合はセル分割モデルに関係する。鹿児島と長崎の平均セル面積が 3.15km^2 、 1.72km^2 であるのに対し、大分の平均セル面積は 4.84km^2 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ためである。

②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比較する。まず、鹿児島は集中パラメータ[1.0]、距離パラメータ[0.0]と低い値である。この値は市の広い範囲から平均的に人口が集まることを表している。魅力移動の移動先である皇徳寺ニュータウンは、地価が鹿児島市の平均程度と決して安価ではなく、台地あるいは斜面地にあることもあり交通の便が悪い。このことでそれほど人々が惹きつけられず、集中パラメータが低くなっている。

長崎の魅力セルであ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思われる。このことが、高い集中パラメータ値となっている。また、距離パラメータも[1.5]と比較的高い値である。これは、比較的近い地域からの移動が多いことを意味する。先にも述べた通り、長崎は土地の大部分が斜面地である。住民が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。このことが実際の直線距離と住民の感じる距離に大きな意識の差を生んでいる。

大分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ヶ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³⁾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に対する満足度が高い。こうした現状が、集中パラメータが[4.0]という高い値で示されている。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である。

8. 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)最良解の値から都市毎の人口変動の特徴を提示できる。
- 3)都市活性化に対応した人口変動予測モデルの利用目的により、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される。

3都市で解析を行い、本システムの有効性が確立したことにより、人口予測の精度をさらに上げることが容易となった。しかし、最も重要なことは本システムを実際に存在する都市の問題に対して適用し、その問題解決にあたることである。今後は、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。

補注

注1)ArcGIS8.1.2はESRIジャパン株式会社の登録商標

注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, 日本建築学会計画系論文集, 第538号, 93-100, 2003.6
- 2)吉原昌也, 御手洗政和, 友清貴和, 本間俊雄, 複層化セルオートマトン法とGISによる人口変動予測モデルの評価(その1, その2), 日本建築学会(北海道), F-1, 541-542, 543-544, 2004
- 3)大分市ホームページ(URL:http://www.city.oita.oita.jp/cgi-bin/odb-get.exe?WIT_template=AM040000)

*1 鹿児島大学大学院修士課程

*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 University
Prof., Dept. of Architecture, Kagoshima University, Dr. Eng.
Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Kagoshima University, Dr. Eng.