

セルオートマトン法を用いた地方都市活性化のモデルの評価  
～復層化モデルの有効性の確認～

福永 知哉

**研究の背景**

人口減少  
地方都市の衰退

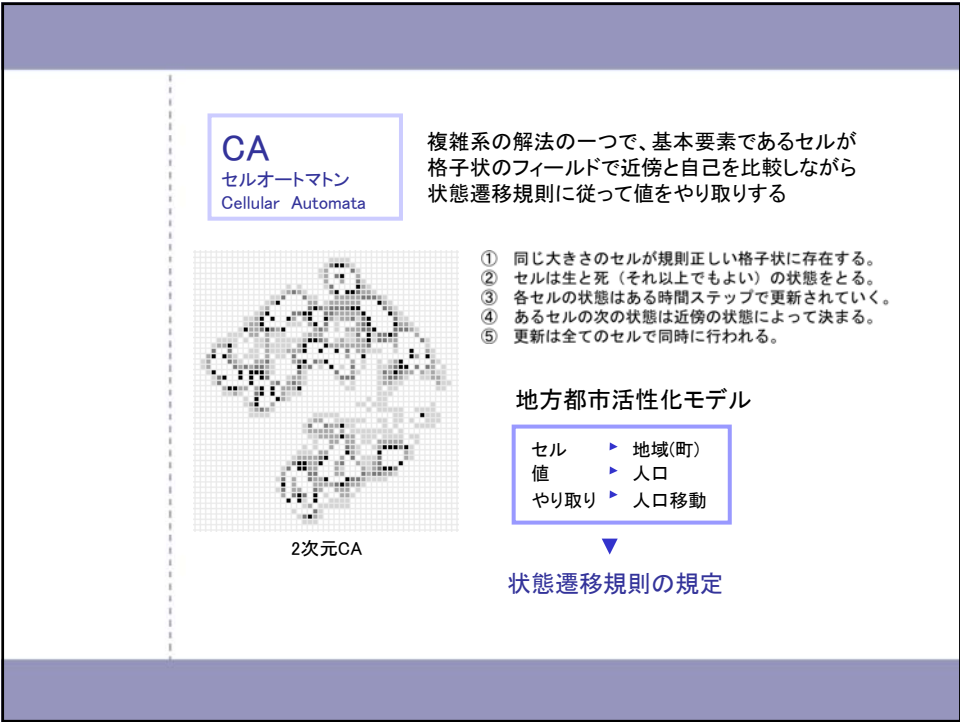
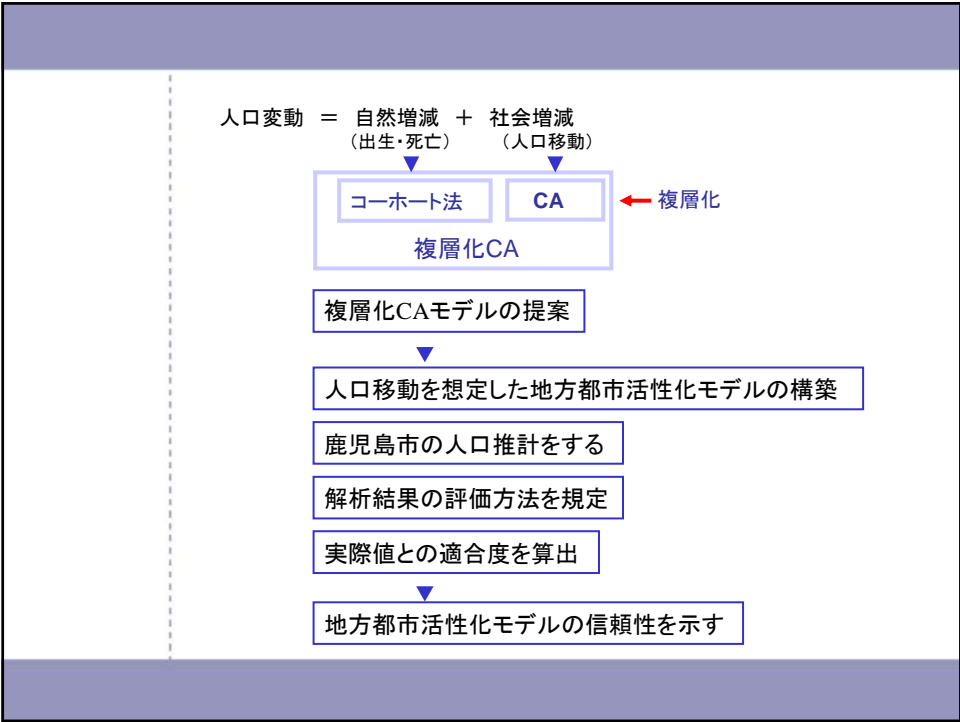
↓

経験的な都市計画から脱却  
活性化した持続可能な都市計画

都市 — 住宅・学校・施設(ハード)  
          — 経済・情報・法律(ソフト)  
          — 人口

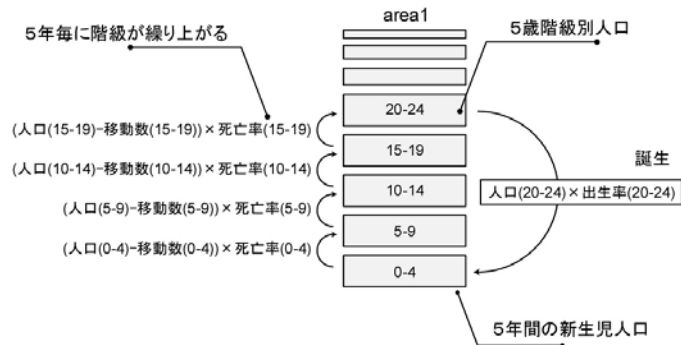
都市は多要素で構成され  
相互に作用している

人口分布から都市の正確な需要を割り出し、都市計画に利用する



### コーホート法

特定の地域の人口変動を  
出生率・死亡率・移動率から求める方法



人口の年齢塊(5歳間隔)が3つの要因により  
年齢層を上がっていく

### 研究の方法

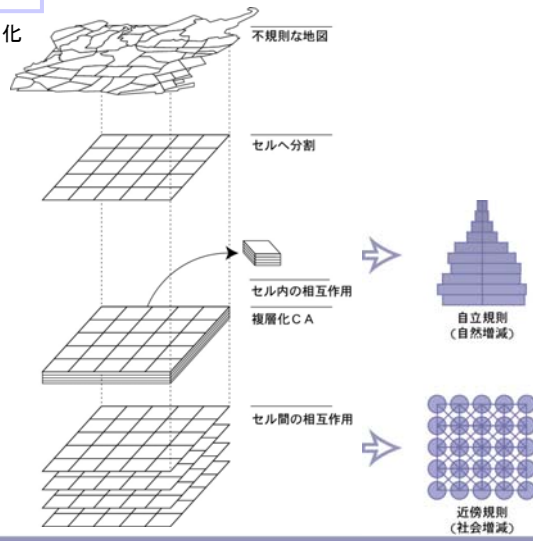
- 1, 復層化CAを用い、人口変動モデルを構築する
- 2, 地図をセルに分割し、過去のデータに対応させる
- 3, セルに初期値として1975年のデータを与える
- 4, 状態遷移ルール・パラメータを規定する
- 5, 解析結果を時系列で適合度を示す評価方法を規定する
- 6, GUIを有したソフトを開発する
- 7, 1975年から2000年までの25年間の人口変動をシミュレートする
- 8, 解析結果を比較し、最適解を抽出する
- 9, 最適解を用いて、近未来の人口分布を予想する
- 10, 結果の考察

解析モデル



解析モデル

CAの複層化



### 解析モデル

#### 状態遷移規則の規定

人々は安定した日常生活を望み、寄りよい生活を求めて居住地の移動を行う

移動の理由

移動理由	県内	地域内	地域間	計
転勤・転職・転職	9.72	4.00	6.28	20.00
進学	0.47	0.37	1.00	1.84
家業継承	0.52	0.11	0.21	0.84
結婚	13.73	1.28	0.34	15.35
離婚・配偶者死亡	1.34	0.40	0.16	1.90
親・子と同居	1.89	0.50	0.47	2.86
住宅事情	39.22	3.39	0.34	42.95
子の学校・教育	0.92	0.08	0.10	1.10
その他	10.26	1.58	1.32	13.17
計	78.07	11.72	10.22	100.00

雇用環境を求める移動

住宅環境を求める移動

CAのルールに置き換える

### 解析モデル

#### 状態遷移規則

- ・自律規則（人口の自然増減）
  - ① 出生
  - ② 死亡
  - ③ 成長

コーホート法

- ・近傍規則（人口の社会増減）
  - ① 遠距離移動
  - ② 近接移動
  - ③ 家族移動
  - ④ 結婚移動
  - ⑤ 行政事業

CA+計量地理学

パラメータ一覧表

	開始年齢	終結年齢	性別	人口パラメータ
近接移動	1	2		5
	3	4		6
長距離移動	7	8	11	13
	9	10	12	14
家族移動	15	16		19
		17		20
		18		21
結婚移動	22	23		24
行政事業	25	26	27	28

### 評価方法

解析結果は地図上に人口分布が、男女別に5歳間隔の層(人口ピラミッド)状にあり、これが時系列で与えられる



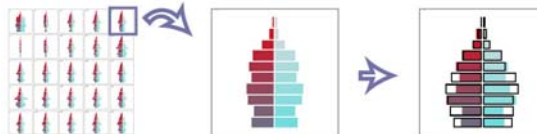
解析結果の適合度を時系列に沿って示す評価方法の規定

解析結果の人口データ  
実際の人口データ

数理式から解析結果に適合度を示す評価値を与える

### 1, セルの評価値

人口分布をセル単位で各ステップ毎に評価する



$t$  ステップ後の  $i$  セルの評価値

$$\sigma_i^t = \left[ \frac{1}{40} \left\{ \sum_{k=1}^{20} (P_{m(t,k)} - P_{m(t,k)}')^2 + \sum_{k=1}^{20} (P_{f(t,k)} - P_{f(t,k)}')^2 \right\} \right] / A^t$$

### 2, パラメータパターンの評価値

セルの評価値  $\sigma_i^t$  の総和

$t$  ステップ後のパラメータパターンの評価値

$$\delta^t = \sum_{i=1}^{25} \sigma_i^t$$

### 3, ペナルティ



$\delta^i$  は小さいが特定の年齢層で  
値が極端にずれている

$\sigma_i^j$  にペナルティ  $\varepsilon$  を与える判断式



$$\lambda_{i(k)} = \sqrt{(P_{m(i,k),f(i,k)} - P_{i/40})^2} / (P_i / 40)$$

$\lambda > 2, \varepsilon = 0.01$

条件を満たす層を含む場合、ペナルティ(層数 $\times 0.01$ )を  $\sigma_i^j$  に付加

### 4, 最適解の抽出

1975年から2000年の5ステップのシミュレート  
各ステップの  $\delta^i$  を算出する

5ステップ間の平均値  $\bar{\delta}$ 、5ステップ後の  $\delta^i$

$$\bar{\delta} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 \delta^i$$

### 解析

単独試行 一つ近傍規則を使用して人口推計する  
評価値  $\delta$  の判断でパラメータの存在可能な  
範囲を絞り込む

近接移動		90
長距離動		576
行政事業		20
家族移動	近接移動	60
	長距離移動	60
	行政事業	60
結婚移動	近接移動	80
	長距離移動	80
	行政事業	80

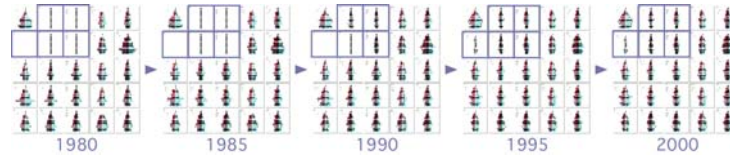
### 近接移動

人口密度 高→低

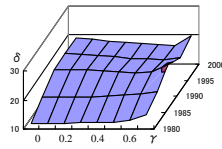
- 移動者は可能な限りコスト(地価・移動)が低くなる選択行動を行う
- 全ての移動候補先の情報は知らない

$$P_{i(k)}^{t_{n+1}} = P_{i(k)}^{t_n} + \sum \left\{ \left( P_{j(k)}^{t_n} \right)^\gamma - \left( P_{i(k)}^{t_n} \right)^\gamma \right\} \quad , (j \in \phi)$$

人口比パラメータ  $\gamma$  は移動者の目的地選択に対する地価への関心の強さ



人口比パラメータ  $\gamma$  を変化させたときの評価値  $\delta$  の変動



$\gamma$	1980	1985	1990	1995	2000
0	12.19	15.3	18.39	19.24	18.1
0.1	12.19	15.25	18.2	18.81	18.36
0.2	12.19	15.32	18.09	18.53	17.96
0.3	12.2	15.53	18.97	17.96	17.27
0.4	12.33	15.9	18.59	17.49	16.64
0.5	12.53	16.34	18.28	17.23	16.53
0.6	13.19	16.49	18.63	16.91	16.27
0.7	14.92	17.39	21.12	17.89	19.54

### 長距離移動

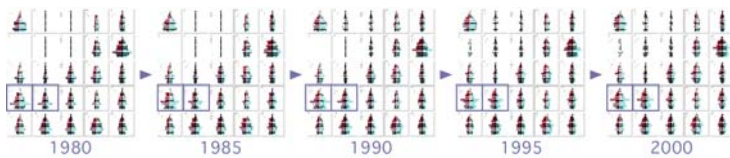
人口密度 低→高

- 人口が多いところを目指す
- 移動者は可能な限り移動距離が短くなる選択行動を行う

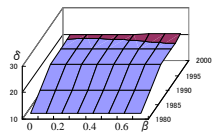
$$P_{i(k)}^{t_{n+1}} = P_{i(k)}^{t_n} + \sum_{j \in \phi} \left( \frac{P_{j(k)}^{t_n}}{P_{i(k)}^{t_n}} \right)^\beta d_{ij}^\beta \quad , (j \in \phi, \beta \leq 0)$$

人口比パラメータ  $\delta$  は移動者の労働条件への意識

距離パラメータ  $\beta$  は移動距離への敬遠の程度を表す



人口比パラメータ  $\beta$  を変化させたときの評価値  $\delta$  の変動



$\beta$	1980	1985	1990	1995	2000
0	12.19	15.25	18.63	19.89	20.06
0.1	12.19	15.25	18.63	19.86	20.05
0.2	12.19	15.25	18.64	19.86	20.05
0.3	12.19	15.25	18.64	19.87	20.07
0.4	12.19	15.25	18.67	19.86	20.08
0.5	12.2	15.26	18.68	19.89	20.09
0.6	12.2	15.26	18.68	19.91	20.12
0.7	12.2	15.26	18.69	19.91	20.14



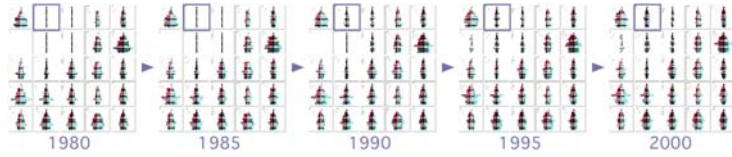
## 行政事業

大型団地の建設

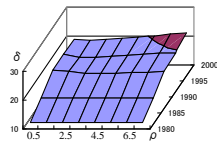
- 大量の人間が移り住む
- 団地の魅力は時間と共に減少する

$$P_{i(k)}^{t+1} = P_{i(k)}^t + \rho H \sum_{j \neq i} P_{j(m)}^t$$

集中パラメータ  $\rho$  は団地の規模  
魅力係数  $H$  は団地の魅力



集中パラメータ  $\rho$  を変化させたときの評価値  $\delta$  の変動



$\rho$	1980	1985	1990	1995	2000
0.5	12.2	15.25	18.27	19.11	19.84
1.5	12.2	15.25	18.71	19.25	19.38
2.5	12.2	15.25	18.31	18.29	18.75
3.5	12.2	15.25	18.21	18.54	19.31
4.5	12.2	15.25	18.3	18.85	19.74
5.5	12.2	15.25	18.43	19.25	20.18
6.5	12.2	15.25	18.58	19.53	20.83
7.5	12.2	15.25	18.81	19.82	21.16

## 複合試行

単独試行で得たパラメータ範囲を基に、ルール、パラメータの組合せを変え試行

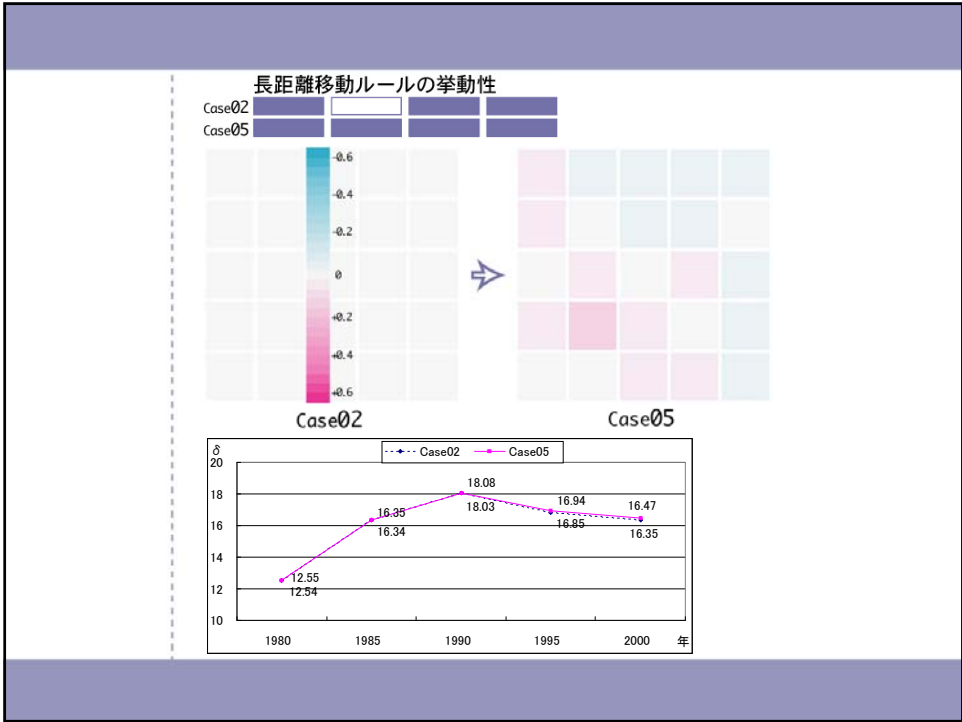
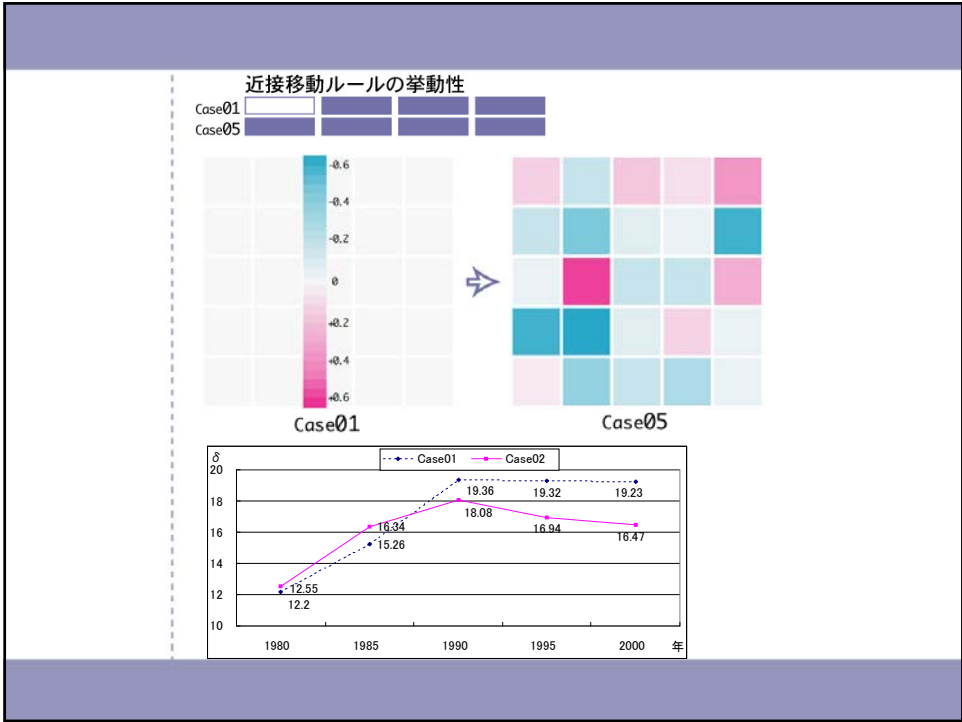
パラメータの範囲				近接移動	長距離移動	家族移動	行政事業
近接移動	開始年齢	終結年齢	人口比パラメータ	Case01			
	男: 10	男: 70	0.5 - 0.7	Case02			
長距離移動	開始年齢	終結年齢	セル	Case03			
	男: 15	男: 60	1	Case04			
家族移動	年齢	年齢	移動パラメータ	Case05			
	夫: 30	子: 10	0.1 - 0.3				
結婚移動	年齢	年齢	移動パラメータ				
	男: 30	女: 25	0.1 - 0.3				
行政事業	セル	期間	集中パラメータ				
	6	1985 - 2000	0.5 - 1.5				

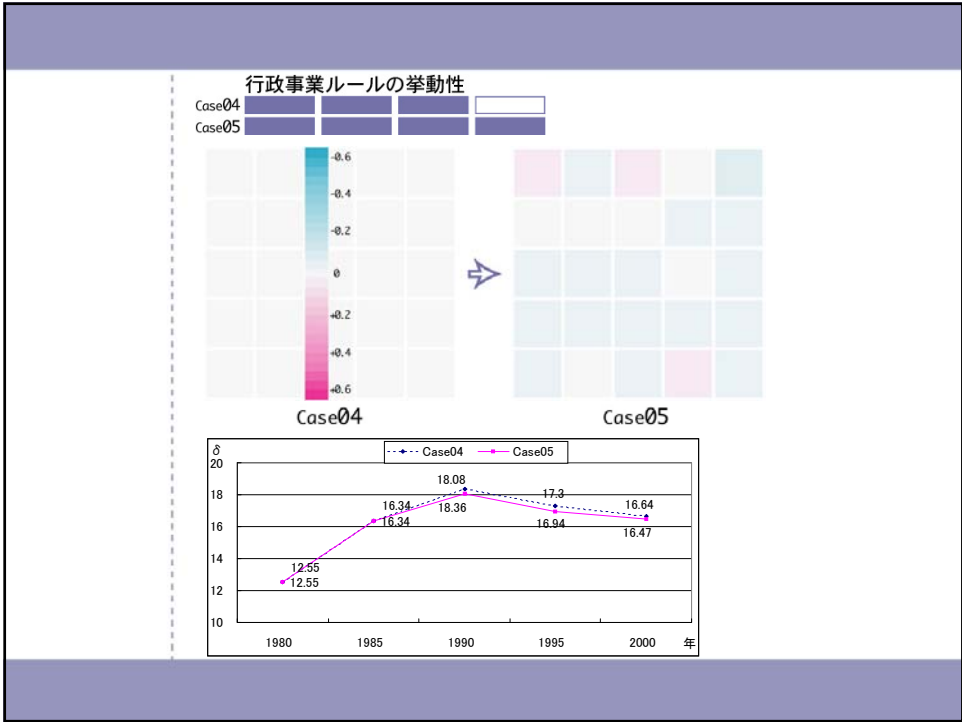
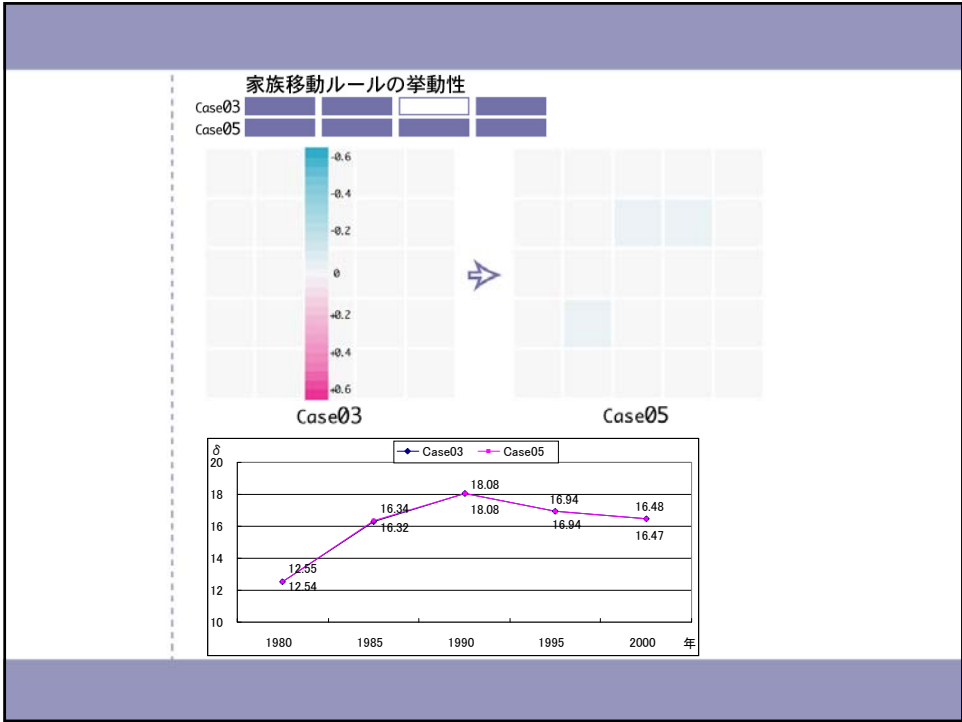
  

1980	1985	1990	1995	2000	平均
12.2	15.26	19.36	19.32	19.23	17.07
12.54	16.35	16.98	16.85	16.35	16.02
12.54	16.32	16.94	16.94	16.48	16.07
12.55	16.34	17.34	17.3	16.64	16.24
12.55	16.34	16.94	16.94	16.47	16.08

パラメータ	男: 10~70	男: 15~65	女: 10~70	女: 10~65	夫: 30	妻: 30	親: 55	子: 10	子供: 10	セル: 6	期間: 1985-2000	$\rho$ : 0.5
$\gamma$	0.5											
$\delta$		1.0										
$\beta$		0.5										
$\alpha$					0.2							





### 結果

解析結果の評価方法を規定し、評価値 $\sigma$ 、 $\delta$ を算出することで時系列に沿った適合度を示すことができた。

評価値 $\sigma$ 、 $\delta$ の比較より、ルール・パラメータの持つ挙動性が明確になり、実際の人口変動に近い値の再現が可能になった。

対象都市の分析が可能になり、地方都市活性化モデルの信頼性を示すことができた。

### 問題点

近未来の人口分布の予想は可能であるが、評価値 $\delta$ を追跡すると極端な変動が確認

現在の近傍規則では不十分である

### 今後の展望

解析モデルを他の地方都市に適用し、有効性の確認をする

計量地理学に基づく新たなルールの導入

商業・医療施設の計画などの魅力の指標を用いたルールの追加



過疎化の阻止、商業地の活性化  
具体的な都市の事象の再現可能なモデルの構築

