局所的相互作用を考慮した繁華街形成の動的シミュレーションモデルの開発

北島　陽介[1]・平野　勝也[2]

[1]学生会員　東北大学大学院情報科学研究科　博士課程前期
（〒980-8579宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-06，E-mail:kitajima@plan.civil.tohoku.ac.jp）
[2]正会員　工博　東北大学大学院情報科学研究科　准教授
（〒980-8579宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-06，E-mail:hirano@plan.civil.tohoku.ac.jp）

繁華街における多様性，複雑性を作り出す秩序は，都心や駅前といった繁華街の再開発，再整備を進める上で重要な要素となりうる．本研究では，仙台市街地を例にとり，敷地の周囲の状況から，業種変化の秩序を明らかにし，それらを利用することで，繁華街の将来を予測する動的シミュレーションモデルの枠組みを作り上げ，試論として提示することができた．

キーワード：*繁華街，街路，相互作用*

１．はじめに

現在，車社会の発展に伴う郊外型商業施設開発の進展により，既存の都心，駅前の集客能力が低下する傾向が見られる．今後，都心や駅前といった繁華街の再開発，再整備を進め，魅力あるものとしていくにあたり，繁華街の成立要因を探り，将来を見据えた計画を行うことは必要不可欠である．

資延ら[1)]のような既存の繁華街についての研究では，クロスセクションでの静的分析によって街路構成から他の繁華街との比較を行っている．しかし，このような方法では，変化のダイナミズムを見る事はできない．これからの繁華街を計画するにあたっては，クロスセクショナルな秩序を見るのではなく，店舗の用途変化をみることで，直接的に将来予測が可能となるような繁華街の構成秩序を得ることが必要なのではないだろうか．

また，繁華街における特定業種の集積や，多様性は，様々な業種の店舗同士の相互作用や，店舗と主要街路との関係といった局所的ルールが支配的なのではないかと考える．このような視点から行った先行研究[2)]では，時間の異なる断面を取り出し，局所的なルールという側面から店舗の用途変化について論じる事ができた．しかし，そこでは変化要因の存在を明らかにしたのみであり，詳細を分析し，将来を予測するシミュレーションを行う必要がある．

局所的相互作用を利用した研究として例えば，仮想都市上での分析を行った研究[3)4)5)]があり，そのシミュレーション手法を提案している．また，現実への相互作用の適用を考えた研究として，瀧澤[6)]らは，都市に対してセルオートマトンを適用し，市街地変化の様子のシミュレーションを行っている．ここでは，50m×50mという敷地の大きさを単位として分析が行われている．同様にセルオートマトンを利用している既存研究[7)8)9)10)]においても，その敷地の大きさは一辺50m以上とされている．

しかし繁華街の変化を見るためには，より細かい視点に立って店舗の敷地を一つの単位とするようなミクロな分析を行う姿勢が必要である．しかしながら，このような視点を持つ既存研究は未だ見られない．

そこで，本研究は先行研究を発展させ，局所的相互作用や，局所的ルールの詳細な特徴を明らかにし，それらを利用した繁華街の将来を予測するための枠組みを，試論として提示する事を目的とする．店舗という小さな敷地を基本単位とした将来予測を行うことで，より正確な都市計画の可能性を拓く事ができると考える．

２．サンプリングデータ概要

図-1に示すように，本研究では，先行研究において分析を行った国分町の店舗データを取り出し，利用することとする．国分町は，仙台市では非常に大きな歓楽街であり，分析を行うことに最も適した場所であると言える．

業種分類に関しては，日本標準産業分類を参考にし，**表-1**に示すような独自の分類を行い，調査対象の敷地に

おける店舗名から業種を判断することで分類を行った．データを収集した年代は，1974年，1978年，1985年，1990年，1995年，2000年の6断面である．

サンプリングの結果，延べ店舗数2892，全変化数834という結果が得られた．変化した店舗のうち，大きな割合を占めるのは，飲み屋（業種番号1）への変化である．各業種から飲み屋へと変化するサンプルが，全変化数に対して41.7%であった．現在までに，国分町の特徴である歓楽街への変化が進んできた事がこのデータによって説明できる．

各業種の変化と同時に，店舗の周囲状況（当該店舗が面する街路の業種構成割合），最小リンク数（サンプル収集区域を囲む幅員20m以上の道路から当該街路までの最短経路を計算した場合に通過する街路の数．街路がどれだけ奥に位置するかを示す．），敷地の間口長（全断面で最小の長さである5mを基準値1とする．）の値，これらの3種類を相互作用，局所的ルールの要因としてデータ収集を行った．　これは，繁華街を説明する要因としては最も大きいものであると考えられる．

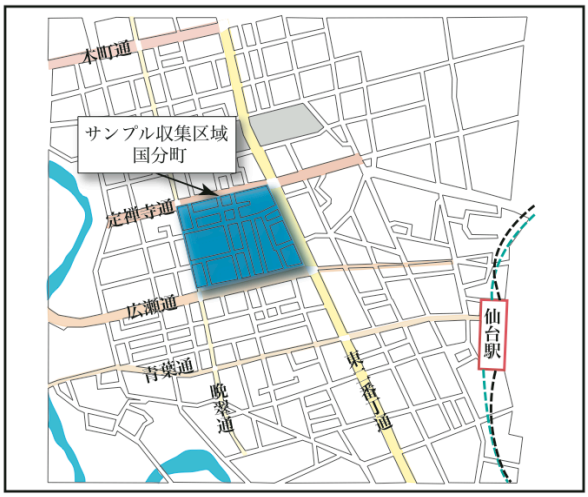

図-1　サンプル収集区域

表-1　業種分類

業種番号	業種名	分類
1	飲み屋	飲酒を主とする
2	飲食	食事を主とする
3	小売	
4	事務所・営業所	
5	旅館・ホテル	宿泊施設
6	民家・アパート	
7	駐車場・空き地	建設中，倉庫，公園を含む
8	製造	
9	病院	
10	風俗	店舗名で判断可能な敷地
11	サービス	クリーニング，パチンコ等の遊戯，を含む
12	公共	警察署、派出所
0	不明	店舗名で判断が不可能な敷地

３．研究方法

1974 年から 1995 年までの限定したサンプリングデータから，店舗の周囲状況，最小リンク数，敷地の間口長，変化前の自身の業種，これら 4 種類のデータを利用し，店舗の用途変化に効果的であろうと思われる変数を仮定し，変化した業種を推定する方法として多項ロジットモデルを用いることで，各業種へと変化が発生する確率，すなわち選択確率を求めた．次に，その選択確率を基にして，1995 年の状態から，2000 年のデータ範囲の一部を予測するシミュレーションモデルを作成した．

(1) 多項ロジットモデル

多項ロジットモデルとは，ランダム効用理論に基づき，効用の確率項にガンベル分布を仮定したロジットモデルにおいて，選択肢が 3 以上の多項選択の確率を求めるものである．本研究においては，店舗の周囲状況，最小リンク数，敷地の間口長，変化前の自身の業種，を変数とし，**表-1** に示される不明（業種番号 0）を除いた 12 の業種への変化を 12 の選択肢とすることで，各業種への選択確率を求めた．

業種 k（$k=1,2,\cdots,12$），変数 n 種類，任意の一つの業種 m をベースラインカテゴリーとした場合，線形への回帰を仮定すると，選択肢 k の選択確率 p_k は(1)式で表現される．

$$p_k = \frac{\exp(\alpha_k + \sum_{j=1}^{n} \beta_{kj} X_{kj})}{1 + \sum_{i=1}^{m-1} \exp(\alpha_i + \sum_{j=1}^{n} \beta_{ij} X_{ij})} \qquad (1)$$

α_k 選択肢 k の定数項
β_k 選択肢 k の係数

最尤法により，この α_k と β_k を決定することによって，各業種へと変化する確率を推定できる．

このようにして求めた選択確率を，変化の起こっていない店舗も含めた他の店舗へと適用することで，将来どのような業種へと変化するのかを確率的に予測することが可能となる．

(2) シミュレーションモデル

多項ロジットモデルから得られた選択確率を基にして，実際にデータから得られた 1995 年の業種配置からスタートし，同様に実際のデータから求めた 2000 年の業種配置の状況を予測するモデルを構築した．モデルと現実との比較を簡単にするために，**図-1** から限定的に街路を取り出し，**図-2** に示すような，範囲を絞った計 13 街

路についてシミュレーションを行う事とする．**図-2** の範囲を選択したのは，一般的な街区の形をしており，街路同士の関わりあいを含めようとした場合，最小の形となるものであると考えたためである．また，シミュレーションは，他のプログラミング言語を利用した場合と比較して，計算手法，描画機能の簡便性といった点から，Mathematica を利用して行った．

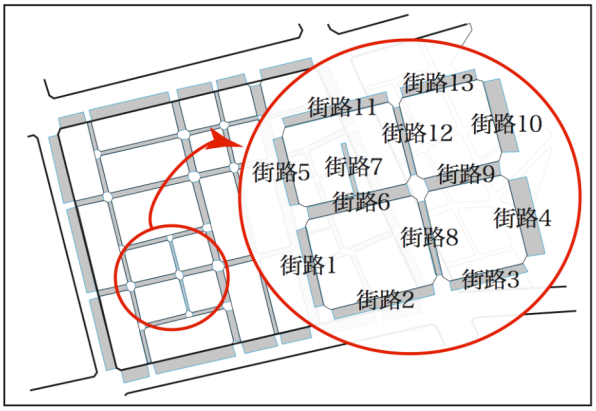

図-2　シミュレーション範囲

純粋に選択確率のみで業種選択をおこなってしまっては，詳細な業種変化を捉えることは難しい．そこで，より精度を高めるために，店舗に業種変化を発生させる場合には，その店舗・街路の特徴によって選択確率を変化させることとする．

そこで，先行研究によって明らかになった，「飲み屋特化型変化」に着目する．これは，一つの街路に一定割合以上の飲み屋が存在すると街路が飲み屋集積の傾向を見せる変化である．これを利用するのは，業種変化の総数のうち飲み屋（業種番号 1）へと変化する店舗が最も多く，飲み屋の多寡が業種変化に関して非常に大きな役割を果たしていると考えるためである．

そこで，業種変化が発生する際には選択された街路における飲み屋の占める割合を考慮し，その割合が 30%以上かつ当該店舗の業種が飲み屋であった場合には，先のモデルで得られた選択確率を飲み屋特化に働く方向へと変化させる方法を取った．

本来ならば細部にわたって，様々な変化形態を考慮しなければならない部分ではあるが，テストケースとしてのシミュレーションであることから，大きな要因である飲みや特化型変化のみを取り上げることで，大枠で変化を捉える事とし，よりシンプルな計算過程を用いた．

以降の結果はこのような限定的な条件の下で得られたものである．

a) シミュレーションの流れ

図-3 に示すフローに従ってシミュレーションを行う．まず始めに，ランダムに 1 店舗を選択し，当該店舗の業種，属する街路に関しての情報を得る．次に，飲み屋特化型街路に属するか否かの判断を行い，飲み屋特化型であると判断されれば，変化を加えた選択確率を適用し，選択確率を計算する．飲み屋特化型ではないと判断されれば既存の選択確率を適用する．その後，その選択確率に従って変化する業種が決定される．その店舗の業種変化が終了した後，目標とする 2000 年の業種配置にどれだけ近づいたかの計算が行われる．

ここまでを一つのセットとして，指定した回数繰り返し行うことで，将来の業種配置の姿を予測する．

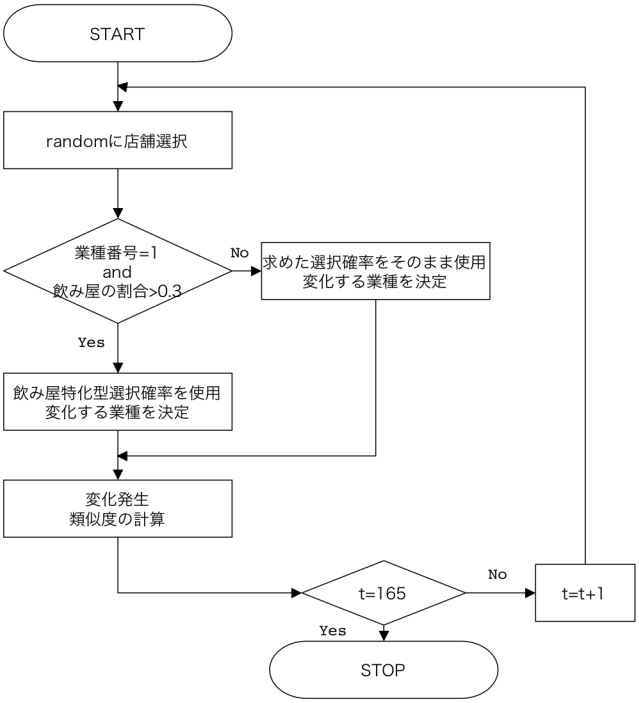

図-3　シミュレーションフロー

b) 業種の種類

表-1 に示される 13 業種を利用する．ここで不明を含むのは，1995 年の初期値において，シミュレーション範囲に不明業種の店舗を含むためである．計算中の選択確率は 0 としているため，以後新たに発生する可能性は無い．結果として，1995 年の店舗状態から変化せずにそのまま不明業種として残ってしまうことは考えられる．

c) 業種選択確率

飲み屋特化型街路に属する店舗が選択された場合の業種変化確率は以下のように決定する．1974 年から 1995 年までに発生した全ての業種変化のうち，飲み屋（業種番号 1）からの変化であり，かつその街路における飲み屋の占める割合が 30%以上である変化を取り出し，どの業種へと変化したのか件数を数え，発生件数の割合を，多項ロジットモデルによって求めた選択確率に掛け合わせることとした．発生件数の割合として得られた特徴的

な結果は，飲み屋から飲み屋への変化が 61%，空き地・駐車場への変化が 21%である．

飲み屋特化型と判断されなかった店舗に関しては，推定された係数をそのまま利用し，当該店舗の業種選択確率を求める．

d) 類似度

反復ごとに類似度を計算する．本研究における類似度とは，シミュレーションで得られた敷地ごとの業種の配置と，データから実際に得られた業種の配置と比較し，配置が等しい店舗の割合を計算することで得るものとする．1995 年と 2000 年それぞれに関してこの類似度を求める．この値が 1 であれば，完全に同一の業種配置となっていることを意味する．なお，理想的な結果が得られた場合，その結果と 2000 年の実際の業種配置の類似度は 1 に非常に近くなっているはずである．

e) 反復回数

図-3 にある反復計算の終了条件 t=165 は実際に得られたデータから求めた値である．**図-4** に示すように，1974 年から，1995 年の各年代において，変化が発生した店舗数を求め，縦軸に累計の変化店舗数，横軸に 1974 年を原点とした年度をとった．ここで切片 0 とした線形回帰を行う事で，一年毎の店舗変化数を回帰式の傾きから求めた．得られたのは以下の(2)式である．

$$y = 33.004x \qquad R^2 = 0.9777 \tag{2}$$

上の式より，一年ごとの店舗変化数は 33 である．これを 5 年間の変化予測に用いると，165 店舗変化することになる．現実と予測の環境を一致させるため，この値をシミュレーションの際の反復値として用いることとする．

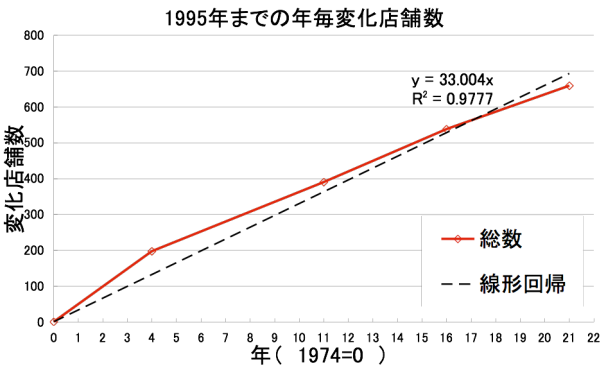

図-4 年毎の累積変化店舗数

4．結果と考察

(1) 多項ロジットモデルによる選択確率係数推定

変数として用いたデータは，当該店舗の属する街路の周囲状況のうち，変化前の自身の業種の割合（X_1），最小リンク数（X_2），間口長（X_3）である．多項ロジットモデルから得られた業種間の選択確率の係数は，以下の**表-2** のようになった．空き地・駐車場である業種 7 をベースラインカテゴリーとして分析を行っている．

表-2 係数推定

業種番号	業種名	α	t値	β1	t値	β2	t値	β3	t値
1	飲み屋	−0.419	−1.171	1.701	4.159	−0.113	−2.373	0.240	1.699
2	飲食	−2.743	−4.181	4.112	2.921	−0.085	−0.858	0.523	2.038
3	小売	−0.780	−1.641	4.076	6.841	−0.084	−1.248	−0.431	−2.054
4	事務所	−1.898	−3.170	2.920	1.714	0.078	1.390	−0.015	−0.060
5	ホテル	−1.839	−1.215	−141.2	−0.060	0.219	3.103	−1.671	−1.573
6	民家	−4.435	−3.309	0.379	0.076	0.042	0.292	0.565	1.101
7	空き地								
8	製造	−6.567	−0.483	42.797	1.527	−1.340	−0.487	−0.108	−0.018
9	病院	−9.538	−2.701	13.089	2.696	0.316	2.436	1.115	1.019
10	風俗	−2.217	−2.370	9.633	4.117	−0.245	−1.407	0.054	0.144
11	サービス	−4.192	−4.663	10.461	2.762	0.063	0.702	0.613	1.834
12	公共	−5.383	−1.988	11.129	2.202	0.050	0.367	0.104	0.081

MacFadden の決定係数 ρ^2 は，0.11 であり，類似度が非常に良いとは言えない．ただし，t 値に関しては，飲み屋，小売，事務所と変化の主要となる業種に関しては大きい値をとり，有意差があるといえる．これらから，ある程度現実を説明できるモデルであると言えるだろう．

t 値の大きい係数の正負の分析を行うと，空き地・駐車場を基準としている前提はあるものの，非常に示唆に富む結果となっている．例えば，飲み屋に関しては周囲の飲み屋の割合が正に作用し，ホテルに関しては間口長が正の方向に効き，小売に関しては，リンク数が負に作用する事が理解できる．飲み屋は集積し，ホテルは大きな間口を持ち，小売は人通りの多い街路（最小リンク数が小さい街路）に立地する．このようにこれらは，私たちが繁華街に対して持つ一般的な業種の特徴を非常に良く示していると考えてよいだろう．

また，推定選択確率が最も大きい選択肢を選択するという仮定のもとに，データで得られた店舗の変化と同じ変化をする店舗の割合を適中率と定義する．**表-2** の結果を利用して適中率を求めると，655 のサンプルがあるなかで， 50%となる．この結果からも，本モデルによる選択確率の推定が完全ではないながら，現実を比較的説明するものであることが分かった．

(2) シミュレーション結果

図-2 に示した範囲について，**図-3** のフローに従って，1995 年の業種分布から，2000 年の業種分布を予測する．以下の**図-5** に示されるのが，1995 年の状態（初期値）であり，**図-6** が 2000 年の店舗配置を示す．

図-5，**図-6** で与えられるのは，13 の街路に属する各店舗の状態である．街路ごとに一行与えられ，存在する

店舗の数の分だけマスを埋めている．色と共に業種番号を各店舗に振ってある

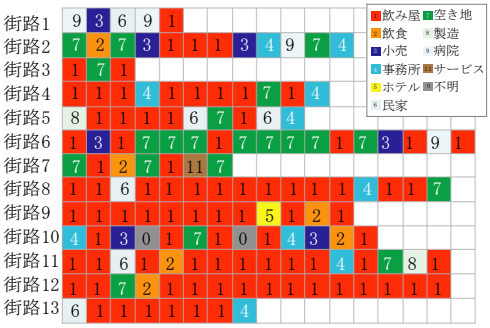

図-5　1995年の店舗配置（初期値）

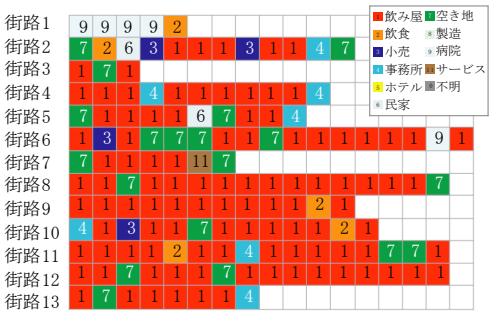

図-6　2000年の店舗配置（実際のデータから）

シミュレーション で得られた 2 つの結果例が**図-7** である．各結果が左の表であり，右のグラフは，165 回行われた計算の各回における類似度を表現したものである．赤い（太い）線が予測しようとしている 2000 年の業種配置に対する類似度を，黒い（細い）線が 1995 年の業種配置に対する類似度を表現する．

シミュレーション結果の店舗配置を見ると，多くの業種が不規則に発生するような不安定な状況は発生せず，飲み屋へと特化する傾向が見られた．ここで見られる特化傾向は，何度シミュレーションを繰返しても見られる．選択確率と，その選択確率を街路の状況によって変化させる外生的なルールが，発散を抑える制約としての効果を発揮した結果であると考えられる．

しかし，類似度のグラフを見ると，1995 年と 2000 年のグラフを比較すると，165 の反復計算のいずれかで 2000 年の値が 1995 年を上回るという求める形の結果が現れている．しかし，2000 年の値が計算前と変わらず，わずかな減少傾向にあることから，将来を高精度で予測できる結果とはなっていない．ここでは，業種変化のシミュレーション過程に関して，飲み屋特化のみの考慮を行っているため，その他の業種の変化ルールを捉えきれなかった可能性がある．

結果として，飲み屋以外の業種変化については精度よく再現することができていない．これらの変化の少ない業種についての変化をどのように再現するべきかがこれからの課題である．

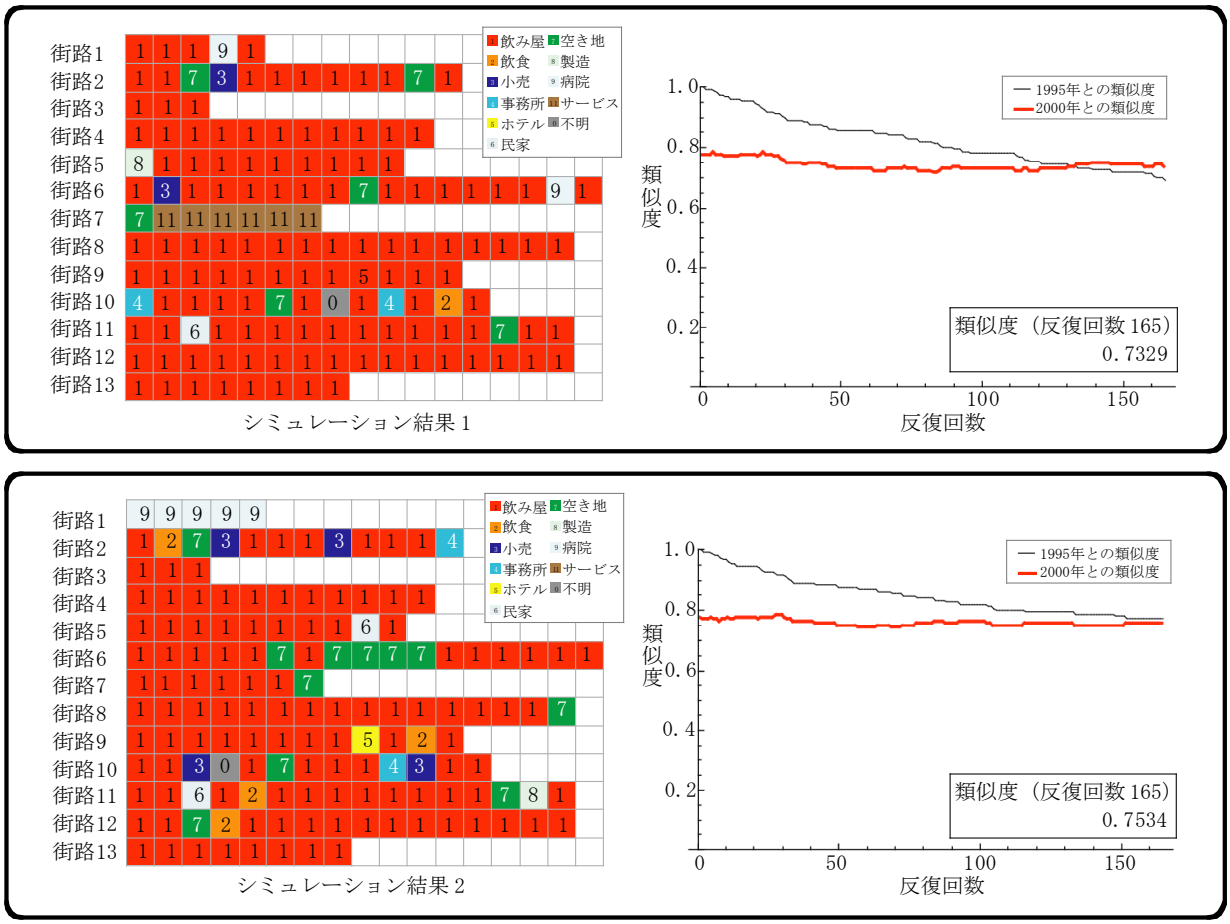

図-7　シミュレーション実施例

５．まとめ

各業種へと変化する過程を示す選択確率の係数決定において，周囲の状況が，一般に持つイメージと同じような正負の値を持つ係数を持つということが明らかになった．係数推定においては，相互作用といった局所的ルールと，繁華街の用途変化の関係性の一端を明らかにする事ができた．

しかし，これらを用いたシミュレーションにおいては，現状を詳細に予測する事はできていない．選択確率については，街路構成によって変化を持たせることで，飲み屋に関する特化型傾向の業種配置を産み出すことができた．これにより，その他の街路傾向等のルールを追加することにより，他の業種を含めた高い精度の予測を行うことも可能であると考えられる．このシミュレーションの枠組みを用いて，予測を行うためには，さらに多くの店舗，街路における変化の特徴を利用した手法を開発することが必要となるだろう．特に，先行研究で得られた多くの業種の変化が存在する，「混在型変化」に対するルールを考慮することによって，細部の変化を予測できるのではないかと考えている．

また，シミュレーションの精度を表す類似度の計算方法についても，敷地単位での当たり外れを見るだけでなく，街路単位などより広い範囲での分析を行う必要がある．いくつかの店舗のかたまりとしての類似度も評価するべきであろう．

参考文献

1) 資延宏紀：街路イメージ類型を用いた繁華街構成分析，東北大学大学院情報科学研究科修士論文，2000
2) 北島陽介：繁華街の店舗立地秩序，景観・デザイン研究講演集No.3，PP28-31，2007
3) 木村駿・門内輝行：都市化のプロセスと自己組織化モデルの構築，日本建築学会学術講演梗概集（関東），2006
4) 安藤陽介・横田敬司・吉川徹：都市衰退による空き家の発生と集積を考慮したマルチエージェント都市シミュレーション，Reports of City Planning Institute of Japan No.2，2004
5) 田島拓也，日比野貴之，阿部武彦，木村春彦：エージェントモデルを用いた狭域商圏業種の最適店舗数の推定，人工知能学会論文誌18巻3号，2003
6) 瀧澤重志・河村廣・谷明勲：セルオートマトンとしての都市，日本建築学会計画系論文集第506号，1998
7) 渡辺公次郎・大貝彰・五十嵐誠：セルラーオートマタを用いた市街地形態変化のモデル開発，日本建築学会計画系論文集第533号，2000
8) R.White・G.Engelen：High-resolution integrated modeling of the spatial dynamics of urban and regional systems，Computers,Environment and Urban Systems 24，2000
9) R.White・G.Engelen：The use of constrained cellular automata for high-resolution modeling of urban land-use dynamics，Planning and Design volume 24，PP323-343，1997
10) Claudia Maria de Almeida・Michael Batty・Antonio Miguel Vieira Monteiro・Gilberto Camara・Britaldo Silveira Soares-Filho・Gustavo Coutinho Cerqueira・Cassio Lopes Pennachin：Stochastic cellular automata modeling of urban land use dynamics:empirical development and estimation，Computers,Environment and Urban Systems 27，2003