

セルの相互作用による仮想都市の 区画変化シミュレーション

古田尚之[†] 水野一徳[†] 今佐和子[‡] 西原清一[‡] 福井幸男[‡]

[†] 拓殖大学工学部情報工学科 [‡] 筑波大学大学院コンピュータサイエンス専攻

概要

近年、インターネット上のバーチャルシティや3次元ゲーム、都市計画シミュレーションにおいて仮想都市の需要が高まっている。著者らは、実際の都市の特徴を持った、自律的に変化する仮想都市を自動生成するシステムを構築中である。本論文では、より現実に近い特徴を持たせた都市を生成するために、都市内の区画の利用変化をセルオートマトン法を用いてシミュレーションを行なう方法を提案する。本手法を現実の道路網に適用して、シミュレーションの様子を確認するとともに、実際の都市の区画利用変化と比較した結果を示す。また、本手法を現在構築している仮想都市自動生成システムに組み込んで都市景観を生成することにより、シミュレーション結果の現実性の向上を図る。

キーワード

バーチャルリアリティ、仮想都市、コンピュータグラフィックス、セルオートマトン、シミュレーション

Urban Block Change Simulation by Interaction among Cells for Generating Time-Varying Virtual Cities

Naoyuki Furuta[†] Kazunori Mizuno[†] Sawako Kon[‡]
Seiichi Nishihara[‡] Yukio Fukui[‡]

[†]Department of Computer Science, Faculty of Engineering, Takushoku University

[‡]Department of Computer Science, University of Tsukuba

Abstract

Virtual cities have been practically used in various scenes including digital cities on the Internet, 3D games, movies, and urban planning. We have developed a system that can generate virtual cities whose cityscape is varied according to the amount of changes of local features at each urban block for each time period. In this paper, we describe the method that makes the features change by using cellular automata. In our method, the features of each urban block, defined as one cell, are locally changed by interaction between adjacent cells. In addition, the features are also influenced by road properties. We demonstrated that our method can produce various and realistic simulation patterns of urban block changes and our whole system can construct 3D scenes of time-varying virtual cities.

Keywords

Virtual Reality, Virtual Cities, Computer Graphics, Cellular automata, Simulation

1 はじめに

近年、インターネット上に展開されるバーチャルシティを始め、テレビ番組、テレビゲーム、映画などでバーチャルリアリティを実現する仮想都市の利用や需要が高まっている [1-6]。また、都市開発においても、公害や環境問題に対処すべく都市計画シミュレーションを行なう仮想都市の需要も高まりつつある。仮想都市の生成は、実在する都市を仮想空間上に再構築したもの [4] と、実在しない架空の都市を構築したもの [6] とに分けられる。仮想都市生成の既存手法として、前者には GIS データや実写画像、ウォークスルー画像を用いる方法がある [1, 4]。また、後者には人による直接操作での方法がある。

しかしながら、これらの手法では、現実の都市同様の多様な複雑さを持つ新しい仮想都市の生成は困難であり、また、その時間変化を表現することができない。仮想都市の都市計画等への応用を考えると、現実性を持った時間変化を伴う架空の都市の生成が必要不可欠である。

そこで、著者らは、時間経過とともに自律的に変化していく都市を自動生成するシステム [7, 8, 10-12, 19, 20] を開発してきた。本論文では、このシステムにおける時間変化に注目して、都市内の各区画の利用の変化をシミュレートする方法を提案する。本手法では、まず道路によって区切られた領域を都市を構成する最小単位のブロックと定義する。都市はこのブロックの集合と捉え、それぞれにいくつかの特徴量をもたせて、それらがブロック同士の局所的な相互作用を 1 ブロックを 1 セルとしたセルオートマトン (CA) によって変化することで都市の区画利用変化を表現する。

以下 2 章では、本研究で扱っている仮想都市の構成やシステムの概要について述べる。3 章では、本論文で提案する区画変化シミュレーションについて基本方針やアルゴリズムについて述べる。4 章では、本手法によるシミュレーションの評価実験を行ない、その結果により本手法の有効性や再現性を示している。

2 仮想都市生成システム

2.1 基本概要

著者らは、現実と同等の多様の複雑さを持ちながら、時間変化を伴う仮想都市を生成する手法の研究を行っている。その一環として、L システムを用いた都市道路網の生成手法 [8]、CA と GA を用いて都市の特徴を時系列的に変化させる手法 [9]、建物の外観形状作成とその配置手法 [10-12]、の研究を行ってきた。また、これらの仮想都市を利用した、マルチエージェントシステムを用いた交通流・人流シミュレータの開発 [13, 14] も行っている。しかし、いずれの研究も都市を建設的な面ではしか捉えておらず、都市の経済的・機能的な面を考慮していなかった。

そこで、都市モデルによる都市の時間変化の表現と都市の特徴に合わせた都市景観の生成を行なうため、以下の構成とした。図 1 にシステム全体の概要を示す。

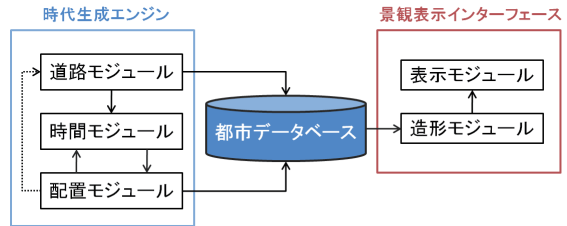


図 1: 仮想都市自動生成システム

表 1: 道路性質

種類	用途	影響
基本道路	区画道路	特になし
特別道路	物流道路 (物流性が高い道路)	工業性が上がる 発展しやすい 衰退しにくい
	商業道路 (商業性が高い道路)	商業性が上がる 発展しやすい 経済に敏感に反応

本仮想都市生成システムは、都市の時代変化とそれに伴う建物の配置状況を生成する時代生成エンジンと、それによって生成された建物の配置データを保持する都市データベース、それを 3DCG で表現する景観表示インターフェースから成り立っている。時代生成エンジンは、道路モジュール、時間モジュール、配置モジュールの 3 つで構成されており、道路モジュールで生成した道路網を基に、時間モジュールで都市の特徴量を計算し、配置モジュールによって建物の配置を行なう。この 3 つを繰り返し実行することにより仮想都市の時間変化を表現している。本論文で対象としている都市の区画利用変化の計算は、時代生成エンジン内の時間モジュールに組み込まれている機能である。

2.2 都市の構成

都市の景観を形成している要素にはさまざまなものが考えられる。その中でも重要だと思われる要素は道路と建物である。道路と建物に関する構成を次に示す。

(1) 道路の分類

道路は都市同士や都市内の地区同士の連結、都市内のすべての建物への交通の提供など、都市を構成する基盤的な要素である。したがって、道路はその種類によって区画利用にも影響を与えるものであると考えられる。そこで本研究では表 1 に示す道路性質を定義し、事前にすべての道路に与えておくことによって、区画利用変化に道路種を考慮する。

(2) 建物の分類

建物も道路と同様に、都市を構成する基盤的な要素である。建物の配置と形状により様々な都市の景観が生成できるので、都市の時代変化を表現するための要素として重要である。

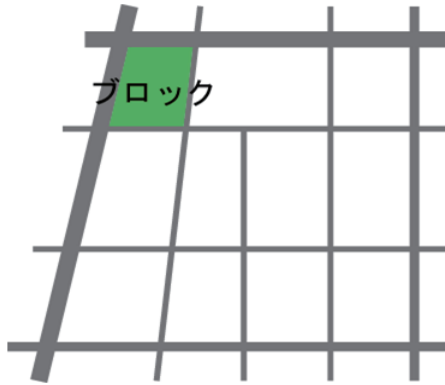


図 2: ブロック

現実の都市には様々な建物が存在するが、本論文では、その主要なものとして建物を以下のように分類する。

- 住居施設：一戸建て、アパート、マンション等の生活するための建物
- 商業施設：商店、デパート、雑居ビル等の消費を促すと考えられる建物
- 労働施設：工場、オフィスビル、雑居ビル等の生産を促すと考えられる建物

また、建物の存在するスペースとして、道路で囲まれた閉領域をブロックと定義し、都市発展を表現する最小単位の一つとしてブロックを扱う(図2参照)。

3 区画変化シミュレーション

3.1 基本方針

区画とは、土地などをいくつかの部分に区切ること、またはその区切られた一つ一つのことであり、本論文では、道路で区切られた領域に対応する。次の基本方針に基づいて都市内の区画の利用変化を計算する。

- 区画をブロックと呼び、都市を構成する最小単位とする。
- 各ブロックにその性質を表す特徴量(状態)を持たせる。
- ブロックの状態は環境ベクトル(後述)で表す。
- 1ブロックを1セルとし、セルオートマトンを用いて隣接セルとの相互作用により環境ベクトルを計算する。
- セルの相互作用の他に区画変化に影響を与える要素として、道路の性質(表1)を考慮する。

3.2 都市の特徴

本研究では、都市における経済的な面を考慮し、経済指標 $\varepsilon(t)$ を時刻 t における好況不況の度合いとし

て定義する。ただし、 $-1 \leq \varepsilon(t) \leq 1$ とし、安定状態では $\varepsilon(t) = 0$ とする。建物の用途にブロック内に建てられている建物の数や高さを考慮したパラメータを加えたものを、各ブロックの特徴を表わすパラメータとして、これを環境ベクトルと呼ぶ。この環境ベクトルを次のように定義する。この環境ベクトルをもった各ブロックが状態遷移ルールに基づいて相互に作用していくことにより都市の発展衰退を表現する。

$V_i(t) = (l, c, p, d)$: 時刻 t におけるブロック i の環境ベクトル

l : 生活度(生活環境に適している度合い, 居住施設の立地を促す)

c : 消費度(消費活動に適している度合い, 商業施設の立地を促す)

p : 生産度(生産活動に適している度合い, 労働施設の立地を促す)

d : 開発度 = $\frac{\text{ブロック内の全建物の延べ床面積}}{\text{ブロックの面積}}$

ただし、 $0 \leq l, c, p \leq 1.0$ かつ $l + c + p = 1.0$

3.3 都市モデル

本手法では、都市空間において、ブロック間の相互作用に影響を及ぼすものとして以下の要素が考えられる。

- 道路：
 - 道路にはいくつかの特徴的な性質があり、区画利用に影響を与えると考えられる。
- 都市発展の中心となるもの：
 - 主に駅など、商業性は都市の中心から伝わってくると考えられる。本手法では、道路性質の指定の仕方により都市の中心を表現した。
- 隣接しているブロック：
 - 互いに隣接しているブロックは、そのブロックの変化に少なからず影響を及ぼしているものとする。
- 経済：
 - 経済は都市全体の变化に大きく影響を与えると考えられる。本手法では、特に道路と経済の影響を考慮した区画利用の変化を計算する。

本手法では、以上の要素で道路と経済と隣接ブロックによる影響を考慮した区画利用の変化を計算する。

なお、その他にも駅や鉄道線路などブロックの相互変化に影響を及ぼす要素はあるが、これらの要素については、都市の変化、周辺のブロックへ与える影響は特別なものがあると考え、さらなる調査および検討が必要であると考え、本手法では考慮しない。

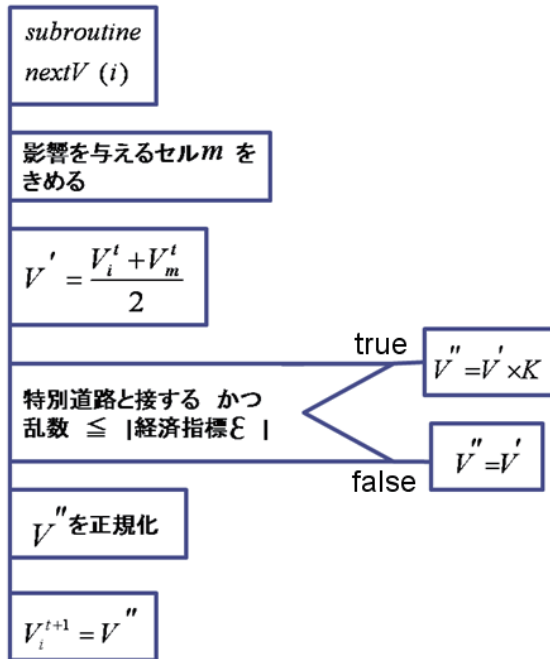


図 3: セル i に対する環境ベクトルの変化アルゴリズム

3.4 変化モデル

本手法では図 3 に示したアルゴリズムでセル i の環境ベクトル V_i を計算する。各ブロックが持つ環境ベクトルを、隣接セルとの相互作用および道路からの影響を考慮して計算する。図 3 は、セル i の時刻 t における環境ベクトル $V_i(t)$ から、時刻 $t+1$ の環境ベクトル $V_i(t+1)$ を計算するアルゴリズムである。この計算を各ブロックで行ない、すべてのブロックの計算が終わったらすべてのセルの環境ベクトルを更新する。本手法では、図 4 に示すように次の 2 つの影響を考慮する。

1. 隣接セルからの影響：セル i はセル j からの影響を受ける。セル j はセル i に隣接するセルの中から選ばれたひとつのセルである。
2. 道路からの影響：特別道路に接している場合のみ計算する。

本手法では、セル i は、直接的にはセル j のみの影響を受けることになる。しかし、セル j も同様に隣接セルからの影響を受けているため、セル i は、セル j 以外の他の隣接セルの影響も間接的に受けている。

3.5 隣接セルからの影響

本研究では、隣接セルとは道路を共有するセル集合と定義する。図 4 の場合、セル i の隣接セルはセル N_1, N_2, \dots, N_7 となる。セル i に影響を与えるセル j

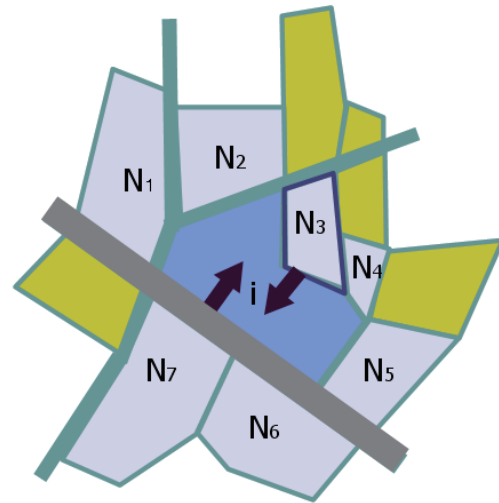


図 4: 隣接セル・道路からの影響

表 2: K の分類

道路	$\epsilon(t)$	K	k
物流道路	$\epsilon(t) \geq 0$	$p'' = p' \times k11$	$k11 = 1.25$
		$c'' = c' \times k11$	$k21 = 1.23$
		$d'' = d' \times k31$	$k31 = 1.40$
	$\epsilon(t) < 0$	$p'' = p' \times k12$	$k12 = 0.97$
		$c'' = c' \times k22$	$k22 = 0.97$
		$d'' = d' \times k32$	$k32 = 0.95$
商業道路	$\epsilon(t) \geq 0$	$c'' = c' \times k41$	$k41 = 1.90$
		$d'' = d' \times k51$	$k51 = 1.70$
	$\epsilon(t) < 0$	$c'' = c' \times k42$	$k42 = 0.65$
		$d'' = d' \times k52$	$k52 = 0.70$

は式 (1) により求められる確率で、隣接セルの中から選ばれる。式 (1) は、経済指標が大きいほど開発度の高いセルが選ばれる確率が高くなり、小さいほど開発度が低いセルが選ばれる確率が高くなる。これにより、例えば、好況時には開発度の高いセルの建物種の影響を受けて、まとまった地区（住宅街、商店街、ビル街など）が形成されやすくなるといった現象を表現することができる。また不況時には、商店街の活気がなくなり衰退していく（開発度の高い消費度の影響を受けず、開発度の低い生活度の影響を受け居住施設となる）といった現象を表現することができる。

$$P(j) = \frac{(d_j)^{k \times \epsilon(t)}}{\sum_{m \in N_i} (d_m)^{k \times \epsilon(t)}}, \quad (1)$$

ただし、 k : 定数。

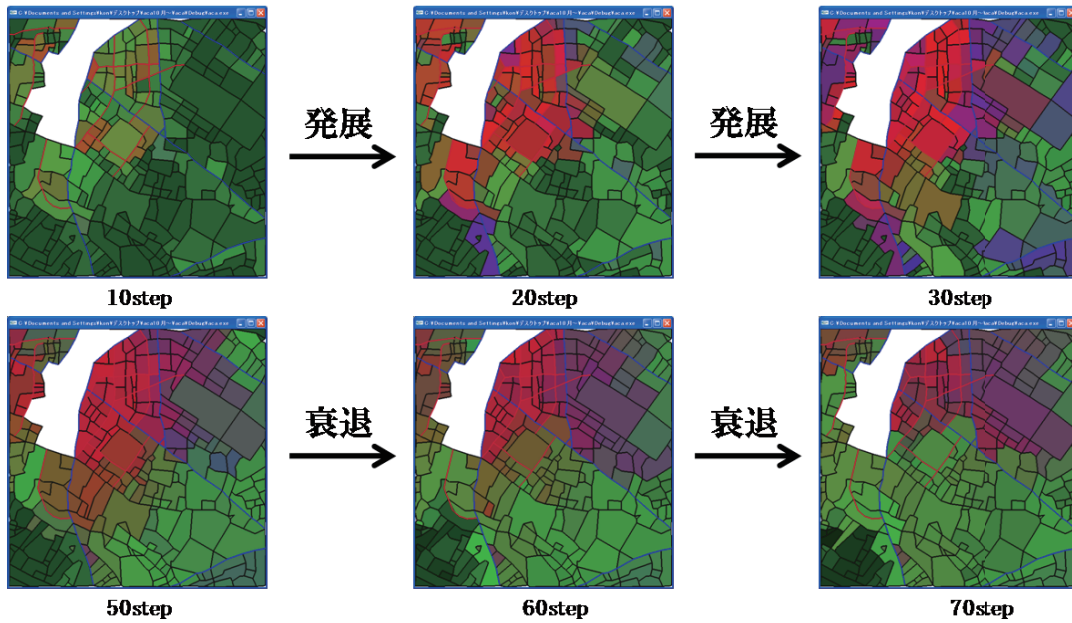


図 5: シミュレーション結果

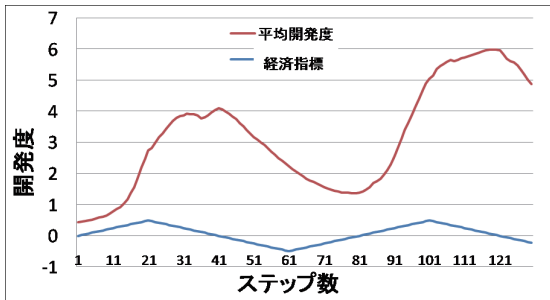


図 6: 経済指標と平均開発度

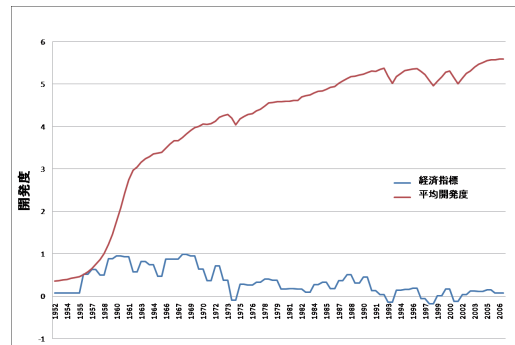


図 7: 設定した経済指標と平均開発度

3.6 道路からの影響

隣接セルの影響により計算された環境ベクトルを V' とすると、 V' は道路からの影響を受け、 $V' = (l', c', p', d') \rightarrow V'' = (l'', c'', p'', d'')$ となる。この道路からの影響は特別道路のみ考慮する。特別道路とは、表 1 に示す物流道路と商業道路のことである。セル i がこの特別道路に接している場合、環境ベクトルの各値は経済指標 $\varepsilon(t)$ の絶対値の確率で重み付けされる。つまり好況不況の度合いが大きいほど道路特性による影響を受ける確率は高くなる。この重み付けのパラメータ K は表 1 を考慮して表 2 のように分類した。

4 評価実験

4.1 実験条件と結果

本手法を用いて区画変化シミュレーションを行なうために、豊島区池袋駅周辺 (1.4Km 四方の範囲) の地図を用いて道路網を作成し、本手法を適用した。図 5 にシミュレーションの様子を示す。ここで経済指標 $\varepsilon(t)$ は、時刻 80 ステップ周期で、0 ~ 20: 上昇、21 ~ 60: 下降、61 ~ 80: 上昇とし、好況不況が繰り返すようにするために図 6 のように経済指標を設定した。なお、実験には PC/AT 互換機 (CPU: Intel Core i7 2.93GHz, メモリ: 4GB) を使用し、ここで用いた道路網におけるシミュレーションでは、1 ステップ (すべてのセルの環境ベクトルの計算) 1 秒程度で計算できる。

図5では、まず事前に与えられた特別道路として、物流道路は青色、商業道路は赤色の道路としてそれぞれ表わしており、基本道路の区画道路は黒で表している。また、各ブロックにおいては、生活度 l 、消費度 c 、生産度 p の値の大きさをそれぞれ緑、赤、青の色に対応させ、その割合に応じてこの3色を混合した色で表わしている。つまり緑が強く出ているブロックは居住施設の割合が高く、赤いブロックは商業施設の割合が高く、青いブロックは労働施設の割合が高いということを示している。なお白い部分は駅の部分に対応しており、本手法では考慮しないためブロックの変化に影響を与えないようにしている。開発度は、ブロックの明るさにより表わし、開発度が高いブロックほど色の輝度が明るくなるように表示している。

図5より、商業道路と物流道路の特性として、発展時にはこれらの2種類の道路に接しているブロック付近から発展しそれが周囲に広がっていくということがわかる。また、このシミュレーション結果により得られるすべてのブロックの平均開発度の推移(図6参照)を見てみると、経済指標の変動の影響が多くの地域に達するまでに時間差があるということがわかる。

4.2 実在する都市の再現の試み

本手法による再現性を評価するために、現実の都市に近い環境でシミュレーションを行った。日本経済の推移の最も基本的なグラフとして経済成長率の推移が掲げられる。経済成長率とは、実質GDPの対前年度増減率のことで、経済規模が伸び率を表している[17]。経済変動により毎年の変動は大きい長期的な傾向として、高度成長期から低成長期へと移り変わるにつれて経済成長率が段階的に低下している。

本実験では、この経済成長率をもとに各時代の経済指標の値を図7(青)のように定めた。この環境のもとで、前節のシミュレーションで用いた池袋駅周辺の道路網で実験を行った。なお、開発度の上限は実際の豊島区の条例[16]に基づき9.0とした。

シミュレーション結果のうち、1955、1980、2005年における区画利用変化を図8に示す。また図6と同様に平均開発度の推移は図7(赤)に示している。シミュレーション結果としては、図7の開発度の推移をみると、1960年代から高度経済成長の影響を受け、急激に都市が発展していることが現れている。また1990年代からは開発度の上昇は緩やかになり、都市の拡大が収まってきたことが現れている。

図9(a)は1996年に東京都が行った土地利用現況調査の結果[15]から、本実験の範囲を抜き取ったものである。図9(b)は本実験の結果の1996年に相当するものである。図9は共に、それぞれ緑が住宅用地、赤が商業用地、青が工業用地を表している。区分の大きさに多少の違いはあるものの、本手法によって実際の区画利用が再現できているのがわかる。一方、図9(c)は、同じ道路網に対して、特別道路を別の位置に配置した場合の実験結果を示している。図9(a),(b)では、駅周辺に商業度が高い地区(商店街など)が形成されているが、図9(c)では、生活度(マンションなどの居住施設)や生産度(オフィスビルなどの労働施設)

の度合いが高い区画が形成されており、図9(a)とはまったく異なる区画利用が再現されている。道路種は、本手法における都市のランダムな変化に対する方向付けを与える要素の1つであると考えられるが、その設定により、道路種の影響を受けて同じ都市でも様々な区画利用がシミュレートできることを表わしている。

また、再現性のさらなる検証を行なうために、上記と同様の環境で異なる道路網を用いた実験を行った。図10にそのシミュレーション結果を示す。図10の結果ではJR八王子駅周辺の道路網を用いている。図10(a)は八王子市が調査した建物用途現況図[18]である。黄色が居住施設、赤が商業施設、青・紫が労働施設を表している。図10(b)が本手法によるシミュレーション結果である。駅前の商業施設の分布や郊外の住宅の分布に近いものがあり、本手法により現実の都市の特徴が再現できているのがわかる。

4.3 仮想都市システムへの組み込み

以上のようなシミュレーション結果(各時刻における各ブロックの環境ベクトルの値)を図1における配置モジュールに渡すことよって、各時刻における建物形状および配置を決定し都市景観を生成することができる。配置モジュールによって生成された都市景観の実行例を図11に示す。ただし、現時点では、配置モジュールが4.1節の実験で用いたような複雑な道路網での景観生成にはまだ対応していないため、図11の実行例は、単純な道路網を用いて区画利用シミュレーションの結果を反映した景観生成ができているかを試みたものである。図11より、単純な道路網ではあるものの区画利用変化のシミュレーションに応じた建物配置、つまり時代ごとの都市景観が生成できていることが分かる。よって、この配置モジュールを改良することにより、現実にあるような複雑な道路網においても、シミュレーション結果に応じた都市景観生成が可能であると考えられる。

4.4 考察

以上の実験により、本手法が都市計画シミュレーションに有効であること、および現実の区画利用に対しても再現性があることを示すことができた。これは、本手法が、都市を構成する上で必要不可欠な基本要素(建物種、道路種、経済状況など)をブロックの状態や状態遷移ルールとして表現しているからであるといえる。しかし、都市計画等において、より詳細な場面を想定したシミュレーションを行なう場合、他にも考慮すべき要素が必要である。例えば、3.3節で述べた駅や鉄道線路のからの影響である。特に駅は多くの人が集まる場所であり、結果として駅前が発展する場合があるという意味で、今回考慮していない要素の中でも最も重要な要素の1つである。本論文で示した実験では、駅を含む道路網を用いているものの、駅の影響を考慮していないが、結果として現実の都市の変化とほぼ同様のものを再現することができた。これは道路種の影響を取り入れたことが有効に働いたと考えられる。

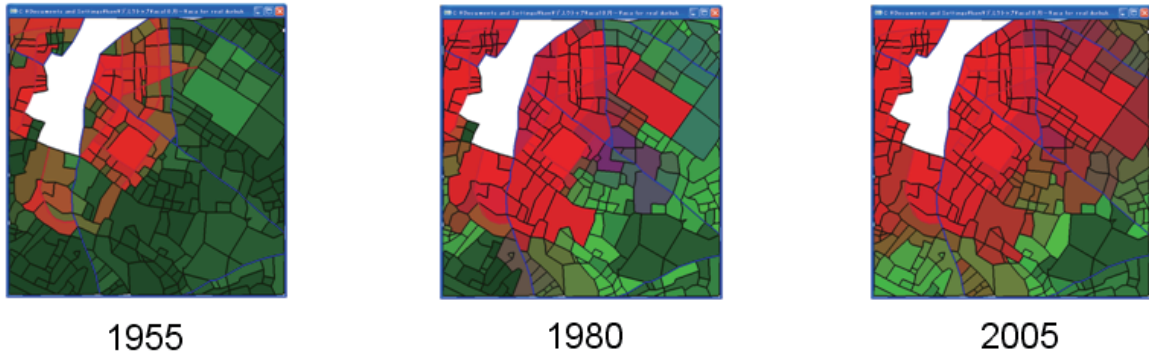
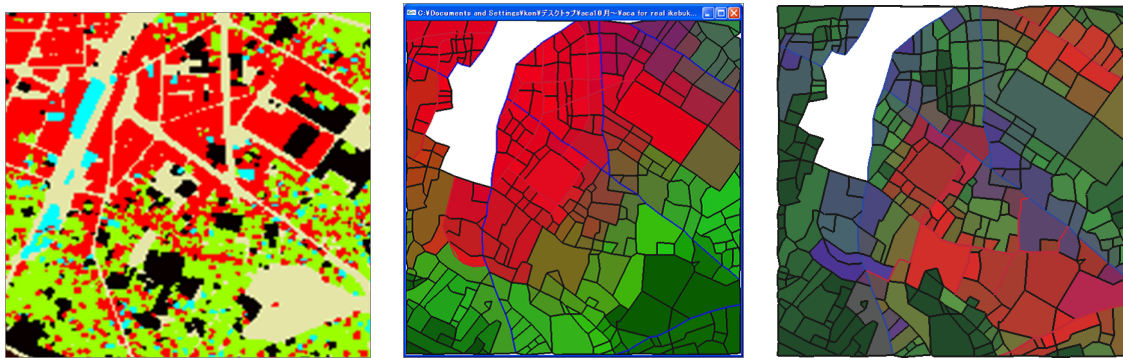


図 8: 実行結果



(a) 土地利用現況調査図 [15]

(b) 本手法の実験結果 (1996 年)

(c) 本手法の実験結果 (特別道路の配置を変えた場合)

図 9: 実際の区画利用との比較 (池袋)

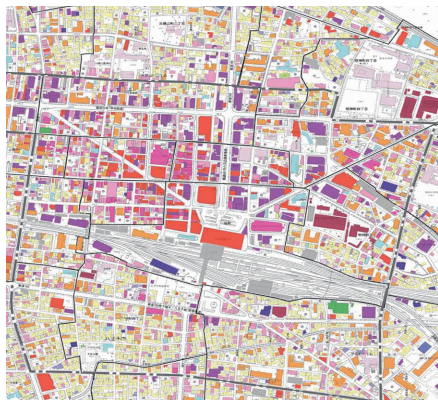
が、今回の実験結果が駅の影響を考慮した場合、どのように変化するのは重要な課題である。

また、本研究で用いた環境ベクトルも最も基本的な 3 要素 (居住性, 商業性, 生産性) のみ扱ったが、例えば公共性 (公共施設の度合い) など、他の要素を加えることや、あるいはよりローカルな範囲を対象としたシミュレーションを行なうために、より詳細な単位 (例えば敷地など) に対しての状態やその遷移ルールを考えることも必要である。さらには、交通流 [13] や人の流れ [14] の影響を取り入れることによって、どのように都市が変化していくかということも興味深い課題である。いずれにしても、今後の展開としては、本論文で提案した方法を基本として、どのような状況、場面のシミュレーションを行ないたいかによって、それに必要かつ適切な要素を追加・検討していくことが重要である。

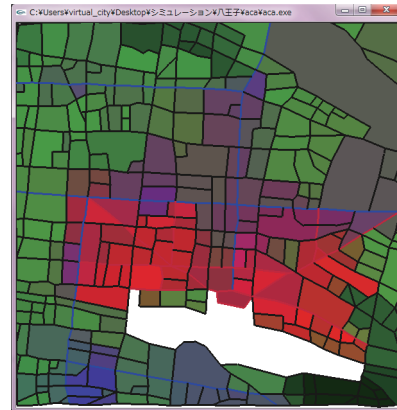
5 おわりに

本論文では、実際の都市のように時間変化を伴う仮想都市を生成するために、都市内の区画利用変化のモデル化および、シミュレーションを行なう方法を提案した。本手法は、道路で区切られた区画に土地利用に関する特徴量をもたせ、それをセルとみなしたセルオートマトン法によりセル同士の局所的な相互作用により時系列変化を実現するものである。本手法を現実の複雑な道路網に適用しシミュレーションを行なった結果と、実際の都市の変化との比較を行ない、同等の変化がシミュレートできる可能性を示した。また別途開発中の仮想都市システムに適用し 3 次元の都市景観を生成した例について示した。

今後は、現実の道路網における特別道路の特徴を考え特別道路の指定を自動でできるようにし、大規模な道路網で実行しより現実に近い都市を再現する。また、道路性質や C A のルールの吟味および改良を行なう必要もある。また、4.3 節でも述べたように、景観生成に関しては、現実にあるような複雑な道路網での生成に対応することが重要である。



(a) 建物用途現況図 [18]



(b) 本手法の実験結果

図 10: 実際の区画利用との比較 (八王子)

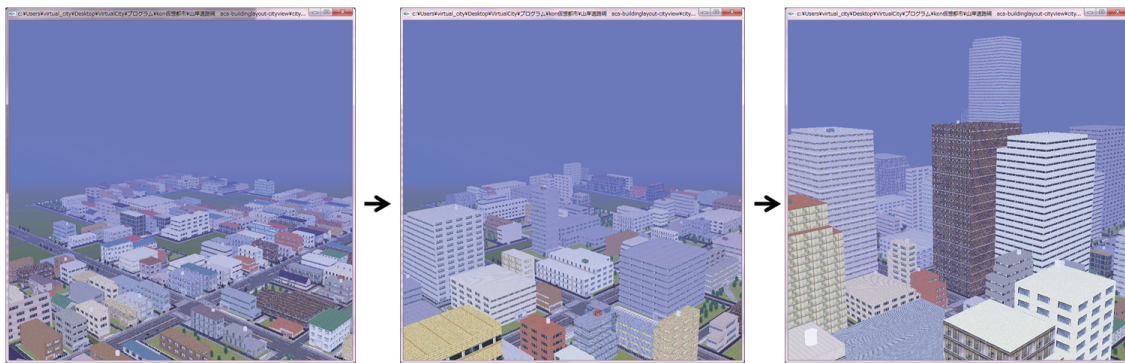


図 11: 仮想都市自動生成システム実行例

謝辞

本研究を進めるにあたり、有益なご意見をいただいた拓殖大学工学部佐々木整准教授、実験データ整理等にご協力いただいた拓殖大学大学院早川大貴氏に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] 原田裕明: 仮想でない仮想都市 – ミラーワールド構築を目指して –, 日本バーチャルリアリティ学会研究報告, Vol. 1, No. 1, pp. 13–18 (1997).
- [2] 石田亨: デジタルシティの現状, 情報処理, Vol.41, No.2, pp.163-168, 2000.
- [3] 垂水浩幸: SpaceTag を応用した仮想都市計画, 日本バーチャルリアリティ学会サイバースペースと仮想都市研究会, VR 学研報 Vol.8, No.2, pp.1-6 (2003).
- [4] カイリルアズミ, 小野晋太郎, 影沢政隆, 池内克史: 広域仮想都市構築のための航空写真影解析による3次元情報復元, 第3回 ITS シンポジウム, 2004.
- [5] C. Vanegas, D. Aliaga, B. Benes: Building Reconstruction using Manhattan-World Grammars, Proceedings of IEEE Conference of Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 8 pages, 2010.
- [6] Parish, Y.I.H. and Muller, P.: Procedural Modeling of Cities, Computer Graphics (SIGGRAPH2001), pp.301-307 (2001).
- [7] 本田真望, 水野一徳, 福井幸男, 西原清一: 自律的に変化する仮想都市の景観生成, NICOGRAPH 論文コンテスト, 第20回, pp.23-28 2004.
- [8] 山内大介, 本田真望, 水野一徳, 福井幸男, 西原清一: 時間変化する仮想都市における道路網の自動生成, SIG-CG, 114-6, pp.31-16(2004).
- [9] 奥野, 岡野, 加藤, 狩野, 西原: セルの相互作用とGAを用いた仮想都市の生成, 計測自動制御学会

第 26 回知能システムシンポジウム, pp239-244, 1999.

- [10] 山田方根, 本田真望, 水野一徳, 福井幸男, 西原清一: 仮想都市の自動生成における建物形状の作成と表示, 第 3 回 NICOGRAPH 秋季大会 2004
- [11] 坂巻美早, 本田真望, 水野一徳, 福井幸男, 西原清一: 想都市のための建物形状の自動生成, 第 66 回情報処理学会全国大会, IB-3, 2004.
- [12] 山岸寛典, 水野一徳, 福井幸男, 西原清一: 時間変化する仮想都市のための建物配置手法, 第 21 回 NICOGRAPH 論文コンテスト, pp. 91-96 (2005).
- [13] 水野一徳, 山田雅一, 福井幸男, 西原清一: マルチエージェントによる都市交通流の微視的シミュレーション, 芸術科学会論文誌, Vol.5, No.2, pp.23-32(2006).
- [14] 水野一徳, 福井幸男, 西原清一: 仮想都市空間における交通流・人流シミュレータの開発, 第 24 回 NICOGRAPH 論文コンテスト (2008).
- [15] 豊島区, 豊島区ホームページ, <http://www.city.toshima.tokyo.jp/profile/>
- [16] 豊島区, 豊島区地区計画の区域内における建築物の制限に関する条例.
- [17] 本川裕: 社会実情データ図録, <http://www2.ttcn.ne.jp/honkawa/4400.html>
- [18] 八王子市, ホームページ, <http://www.city.hachioji.tokyo.jp/>
- [19] Mizuno, K., Nishihara, S., Fukui, Y., and Sasaki, H.: Land-Use Change Simulation by Cellular Automata to Generate Time-Varying Virtual Cities, NICOGRAPH International 2010.
- [20] 古田尚之, 水野一徳, 今佐和子, 西原清一, 福井幸男, 佐々木整: セルの相互作用による仮想都市の区画変化シミュレーション, 第 26 回 NICOGRAPH 論文コンテスト, (2010).

古田 尚之



2011 年拓殖大学工学部情報工学科卒業。同年, 株式会社アルファ・ウェブ入社。在学中は, 仮想都市生成の研究に従事。

水野 一徳



1996 年筑波大学第三学群情報学類卒業。1998 年同大学院理工学研究科理工学専攻修士課程修了。2001 年同大学院工学研究科電子・情報工学専攻博士課程修了。博士(工学)。同年, 筑波大学理工学研究科講師(ベンチャービジネスラボラトリー)。2006 年より拓殖大学工学部情報工学科。現在, 同准教授。知識処理, 制約充足問題, 組合せ探索アルゴリズム, 進化計算, マルチエージェントシステムの研究に従事。情報処理学会, 人工知能学会, 進化計算学会, 芸術科学会, 各会員。

今 佐和子



2008 年筑波大学第三学群情報学類卒業。2010 年同大学院システム情報工学研究科修士課程修了。現在(株)NTT データ勤務。在学中は, 仮想都市生成のためのセルオートマトンの研究に従事。

西原 清一



1968 年京都大学工学部数理工学科卒業。同年, 同大大型計算機センター助手。1975 年より筑波大学。2009 年同大名誉教授。工学博士。1982~1983 年バージニア工科大学。1998 年 IASA。グラフィクスと CAD, 組合せ探索アルゴリズム, 知識処理, 制約充足問題, 仮想都市の研究に従事。著書に「データ構造」(オーム社)等。情報処理学会, 芸術科学会, 各会員。

福井 幸男



1973 年京都大学工学部精密工学科卒業。同年, 日立

製作所入所．1980年東京大学大学院修士課程機械工学専攻修了．同年，工業技術院製品科学研究所入所．1998年筑波大学に転任，現在，同大システム情報系，情報工学域所属．