

# セルオートマトンを用いた仮想都市の自律変化

学生氏名：塚越 啓介

指導教官：西原 清一

## 1. はじめに

仮想都市は、人の生活空間である都市を、映画やゲームの舞台、またインターネット上の情報サービスやコミュニティとして、仮想空間上に再現したものである。近年の仮想都市の需要に伴い、実際の都市の画像やGISデータを用いて仮想空間上に都市を再現する手法が研究されてきている<sup>[1][2]</sup>。一方で、都市のよりよい住環境の提供を目的とする都市計画の分野においても、仮想空間上に都市を再現し試行錯誤する需要が高まっている。しかしながら従来の手法では、仮想空間上での時間変化に伴って生じる非実在の都市を表現することはできない。

それに対し我々は、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<sup>[3]</sup>。我々の手法では、都市の特徴を表すパラメータを定め、それらを自律的に相互変化させることにより都市の時間変化を表現する。本稿では、都市の時間変化を表すためにセルオートマトンを用いる手法を提案する。

## 2. 基本概要

### 2.1 都市の構成

本稿では、都市を構成する要素として道路と建物のみを取り上げる。都市の道路網において、道路により構成される最小閉領域をブロックと定義する。また、建物についてはその用途から以下のように分類し、各特徴を表1に示す。

居住施設：人が居住するための建物  
 商業施設：消費活動を行うための建物  
 労働施設：生産活動を行うための建物

また、道路はその大きさにより以下の3種類に区別する。

幹線道路：主要道路  
 準幹線道路：主要道路をつなぐ道路  
 区画道路：居住施設へ入る細い道路

表1：建物の分類

用途	構造	種類	階数(フロア数)	底面積[m <sup>2</sup> ]
居住施設	低層	一戸建て	1~3	50~150
	中層	アパート マンション	2~5	100~300
	高層	マンション	5~	200~1000
商業施設	低層	小店舗	1~3	50~200
	中層	デパート	2~5	150~2000
	高層	デパート	5~	500~2000
労働施設	低層	工場	1~4	200~5000
	中層	オフィスビル	2~10	150~2000
	高層	オフィスビル	10~	500~2000

これらにより都市を構成する。

### 2.2 都市の特徴

都市は多数のブロックの集合であり、各ブロックが相互に作用し合いながら発展衰退することで時間変化を起こす<sup>[4]</sup>。本手法では、都市の発展・衰退により各ブロックの状態が変化し、その結果、状態に見合った建物がブロック内に存在するものとする。都市およびブロックの状態を表す特徴として、以下のようなパラメータを定義する。  
 $e$ (経済指標)：都市全体の経済力

$V_i^t = (v_1, v_2, v_3, d)$ ：時刻 $t$ におけるブロック番号 $i$ の環境ベクトル

$v_1$ (生活度)：生活環境として適している度合い  
 住居施設の立地を促す

$v_2$ (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

$v_3$ (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) =  $\frac{\text{ブロック内全建物の延べ床面積}}{\text{ブロックの総面積}}$

ただし、 $0 \leq v_1 \leq 1.0, 0 \leq v_2 \leq 1.0, 0 \leq v_3 \leq 1.0$

かつ  $v_1 + v_2 + v_3 = 1.0$

### 2.3 都市の時間変化

都市は人々が活動する場であり、常に変化している。実際の都市は最初から決められた形にデザインされ、トップダウンに変化したのではなく、複数の局所的な要因が複雑に絡み合い、ボトムアップに変化していく<sup>[4]</sup>。

これに対し、セルオートマトン法は局所的な相互作用の原理に基づく計算方法で、簡単なセル間の局所的相互作用から「自己組織化」現象を再現することができる。この特徴から、都市の時間変化を表すためにセルオートマトンを用いる手法を提案する。

## 3. 都市のモデル化

### 3.1 基本構造

本手法では、都市の時間変化を表すためにブロック間の相互作用を考えている。この相互作用に

より環境ベクトルを変化させ、これを都市の時間変化と考える。

都市の特徴として、同種の建物は集まって配置される傾向にある<sup>[5]</sup>。このことから、状態遷移関数の基本構造を以下のように定める。

$$a \sum_{i=1}^m V_i / m + (1-a)V$$

$$0 \leq a \leq 1$$

$V$ : 注目するブロックの環境ベクトル

$V_i$ : 隣接ブロックの環境ベクトル

$m$ : 隣接ブロックの数

### 3.2 道路からの影響

都市が発達する上で、道路は大きな影響を及ぼす。実際の都市を考えてみると幹線道路をはさむブロックでは異なる建物が立っていることが多く、区画道路などの細い道路をはさむブロックでは似た建物が建っていることが多い。

このことから、3.1節で述べて状態遷移関数に道路からの影響を重みという形で加える。

### 3.3 開発度の高いブロック

本手法ではブロックのパラメータとして環境ベクトルに加え開発度という値を導入している。当然ブロックによりこの値は異なっており、都市の変化に影響してくる。実際の都市を考えてみると、大きな建物は周囲からの影響をほとんど受けず、小さな建物ほど周囲からの影響を受けやすい。

このことからブロックは、開発度の高いブロックに引きつけられるといえる。この性質も重みという形で状態遷移関数に追加する

### 3.4 大規模施設の導入

近年の都市には通常の建物には分類できない非常に大きな建物が存在する。具体的にはショッピングモールや駅、大規模駐車場などがこれに該当する。この大規模施設は都市の変化において非常に大きな影響を及ぼす。

このため、本手法では「居住施設」、「商業施設」、「労働施設」に加え大規模施設を導入する。さまざまな大規模施設が存在するが、本手法では、その中でも最も影響力が強く都市の変化に影響するであろうショッピングモールを導入する。

### 3.5 都市のランダム性

都市の特徴として、同種の建物は集まって配置される傾向にある。しかし、常にその方向性であるわけではない。さまざまな要因があるが、居住施設を商業施設に建て替えたり、大規模な商店が

つぶれてしまったりなどの変化が起こる。

これらの変化は局所的にみればさまざまな複雑な要因が重なって起こるのだが、都市全体を見ればランダムに発生したと考えることもできる。われわれのモデルではランダムに起こると考え、この現象を導入する。

## 4 結果

本手法を用いて、都市の時間変化を環境ベクトルと開発度について調べたところ、以下のような結果になった。

- (1) 基本的には都市全体として平均的な形になった
- (2) 開発度の高いブロックが急激に変化した場合、周囲のブロックはそのブロックと同系のブロックに変化した。
- (3) 開発度の高いブロックが衰退した場合、周囲のブロックに取り込まれた。
- (4) ショッピングモールが作られると周囲のブロックの開発度が上昇した。

都市全体として、開発度の高いブロックに左右される結果となった。

## 5 まとめ

本稿ではセルオートマトン法を用い、都市を自律的に変化させる手法を提案した。都市の特徴に環境ベクトルと開発度というパラメータを用いることで、その都市の特徴を有効に表すことができ、セルオートマトン法による局所的な相互作用を用いることで時間変化も表現できた。

## 参考文献

- [1] 村田雅彦: 「3次元地図の製作と利用技術」, 日本VR学会サイバースペースと仮想都市研究会第6回シンポジウム, pp.25-31(2003)
- [2] 池内他: 「全方位画像による仮想都市空間の生成」, 情報処理学会論文誌: コンピュータビジョンとイメージメディア, Vol.42, No.SIG 13, pp.49-58(2001)
- [3] 大谷洋平: 「時間変化を伴う仮想都市の自動生成における建物配置」, 情報処理学会第62回全国大会, 6b-02(2002)
- [4] 本田真望: 「自立的に変化する仮想都市の自動生成に関する研究」, 筑波大学システム情報学研究科博士論文, 2005,
- [5] 奥野智江: 「人工生命の手法を用いた仮想都市生成に関する研究」, 筑波大学理工学研究所修士論文, 2000