セルオートマトンによる都市の発展シミュレーション ~誰でも,簡単にシミュレーション~ プログラミング演習 E グループ:天白 進也

Shinya TEMPAKU

1 はじめに

一般に,自然現象や,生命現象,社会現象などの複雑 現象を微分方程式を用いた数値解析で解くには膨大な計 算量が必要になる.しかしながら,セルオートマトンを 用いると,隣り合うセル間のミクロな相互作用を系全体 で繰り返すことで比較的簡単に,少ない計算コストでシ ミュレーションを行うことができる.社会現象の中でも, 都市の発展は非常に複合的で複雑な問題であり,数値解 析で解くのは困難である.そこでセルオートマトンに よって都市の発展シミュレーションを行うことで,様々 な問題解決,将来決定の補助ができると考えられる. 本報告では,セルオートマトンを用いて社会現象である 都市の発展のシミュレーションを行う.

2 概要

2.1 都市の発展

都市の発展のシミュレーションを行うにあたって,ま ず都市をモデリングする必要がある.都市には様々な 要素があり,それをどの程度正確にモデリングするかに よってシミュレーションの精度は異なる.今回は,土地, 山,水,住宅地,商業地,工業地,公共施設,駅の8つ の要素を用いて都市をモデリングする.

商業地とは住宅地の住民が消費活動を行うための地 域であり,工業地は住民が働くための地域である.また 適当に配置された要素は,他の要素と相互作用すること により,その状態を変化する.例えば,工業地を作成す ることにより人員が必要になるため住宅地の需要が高ま る.それにより住宅地が発展すると,次に商業地の需要 が高まる.このように要素の状態変化が他の要素に影響 を与えることで都市は発展していく.しかし,実際には 状態変化が負の影響を与えることもありうる.自然災害, 火災,環境汚染などがそれにあたる.このように要素同 士の相互作用を都市全体で繰り返すことで全体のシミュ レーションを行う.

2.2 システムの概要

まず,システムの基本的な部分について説明する.本 システムでは,都市を2次元のセルの配列(以降,都市 配列とする)で定義する.都市配列には第2.1節で説明 した8つの要素が配置される.またセルの状態を表すの に,需要,汚染,利便性,および人口の4つのパラメー タを用いる.従って,それぞれのパラメータごとにその 値を処理するための2次元配列(以降,パラメータ配列 とする)を用意する.概要をFig.1に示す.8つの要素 にはそれぞれTable1に示すように各パラメータに初期 値が設定されている.要素が都市配列に配置されると, その値がそれに対応するパラメータ配列に設定される.



Fig. 1 システムの概要

Table I 台バラメータの値				
状態	需要	汚染	利便性	人口
土地	-	0	0	-
山	-	-50	-40	-
水	-	-20	0	-
住宅地	*	50	0	*
商業地	*	80	80	-
工業地	*	100	100	-
公共施設	*	30	50	-
駅	-	*	*	-

*:この値は動的に変化する.3章で詳しく説明する.

次に,システムの処理の概要を説明する.

- 1. 初期状態が配置された都市配列に工業地,商業地, 公共施設を設定する.
- 2. 都市配列に要素が設定されると,その値によってパ ラメータ配列が設定される.
- 3. パラメータ配列の値によって都市配列に配置される 要素が変化する.
- 4. 2,3 の処理を繰り返す.

3 都市発展シミュレーション

本章では,各パラメータの説明とその処理の方法について説明する.また,どのパラメータによって都市配列の状態が,どのように変化するか説明する.

3.1 パラメータ配列

第2.2節で説明したように,都市配列に要素が配置されるとそれに対応するパラメータ配列に Table 1 に示した値が設定される.値が設定された後はパラメータそれぞれ異なった処理を行う.各パラメータについて説明する.

需要パラメータ

値が大きいほどそのセルの需要が高いことを表 す.工業地,商業地,公共施設の需要は住宅地の状 態に影響される.Fig.2に需要パラメータの求め方 を示す.本システムではFig.2に示したように,都 市配列から,工業地,商業地,公共施設から住宅地 までの距離を求めその逆数を重みとして工業地,商 業地,公共施設の需要パラメータを求める.住宅地 の需要は同様の計算を工業地,商業地に対して行う ことで求める.式(1)に需要パラメータの求め方 を示す.

需要パラメータ = 人口
$$(1)/R +$$
人口 $(2)/R$ " (1)



Fig. 2 需要パラメータ

● 汚染パラメータ

値が低いほど汚染度が低いことを表す.Fig.3に 汚染パラメータの求め方を示す.Fig.3のように隣 接するセルに自分の値の半分を加算する作業をす べてのセルについて行う.このような処理を行うこ とでセルのパラメータの影響が放射状に広がってい く.また,汚染パラメータの値は,0~500までの範 囲内に設定し,範囲を超えた場合は上限値または, 下限値に設定する.



Fig. 3 汚染パラメータ

● 利便性パラメータ

値が高いほど利便性が高いことを表す.汚染パラ メータと同様に隣接するセルに自分の値の半分を 加える作業をすべてのセルについて行う.また,利 便性パラメータは0~500の範囲内の値を設定する. 値が範囲外であった場合の処理は汚染パラメータと 同様である.

人口パラメータ

値が高いほど人口が多いことを表す.人口パラ メータは,住宅地のみが持つパラメータである.こ のパラメータは,需要パラメータの値によって変動 する.すなわち,需要パラメータが人口パラメータ の増減を決定する条件となる.需要が高い場合に人 口は増加し,低い場合には減少する.

3.2 都市配列の状態遷移

都市配列はパラメータ配列によって状態が変化する. ここでは,状態変化する要素とその条件について説明 する.

● 住宅地

都市配列に土地要素があった場合,利便性,汚染 パラメータの値によって確率的に土地要素を住宅地 に設定する.利便性パラメータの値が高く,汚染パ ラメータが低い場合に住宅地が設定される確率が高 くなる.

● 駅

駅が2つ以上都市配列に設置されると,駅の近 くにある要素を駅を利用する要素として設定する. この場合,その要素の需要パラメータの求め方が, 式(1)から式(2)のように変更される.このよう にすることで,駅の近くに配置された要素の需要が 高くなる.

需要パラメータ = 人口 (1) + 人口 (2)" (2)

住宅地,工業地,商業地,公共施設
住宅地,工業地,商業地,公共施設には3段階で

レベルを設定する.レベルとはその要素の規模を表 すものである.初めて都市配列に設定されたときは 初期状態(レベル1)に設定される.本システムで は,住宅地,商業施設は各パラメータの値によって レベルが上昇する.工業地,公共施設はパラメータ の値によってレベルが変化することはないものとす る.住宅地のレベルは,人口パラメータによって変 化し,商業地は需要パラメータによって変化する. また,工業地,公共施設のレベルは,「増資コマン ド」によって変化する.増資コマンドは,システム の実行中にレベルを上げたい要素を選択し,実行す ることができる.

以上のように,都市配列のセルに適当に要素を配置す ると,さまざまな処理によってパラメータが変化し,そ の変化が都市配列に還元される.この処理が繰り返し行 われることで街は刻々と変化していく.

3.3 実装

ここではプログラムの構造について説明する.プロ グラムの主な処理は画像の表示とGUIを扱うスレッド クラス(メインスレッド)と,バックグラウンドでパラ メータの処理をするスレッドクラス(サブスレッド)に よって行われる.処理の概要をFig.4に示す.

- 1. サブスレッドは,処理するパラメータをメインス レッドから取得する.
- 2. サブスレッドでパラメータを処理する.
- 3. メインスレッドにパラメータを返す.
- 4. 1~3の処理を繰り返す.



Fig. 4 プログラムの構造

- 4 インタフェース
- 4.1 iアプリを用いたシミュレーション

本システムではシミュレーションにiアプリを用いる. 今回,都市の発展のシミュレーションを行うにあたって iアプリを用いたのは,都市のシミュレーションをゲー ム感覚で気軽に出来るようにするためである.携帯電話 の普及率は非常に高く,また,PCと比べ比較的簡単に ゲームをダウンロードして遊ぶことが出来る.従って, iアプリを用いることで,ゲームをするのと同じような 感覚で都市のシミュレーションが出来ると考えられる.

4.2 実行画面

作成したプログラムの実行の様子を Fig. 5 に示す. Fig. 5-a はエミュレータを起動したときの初期画面で あり,画面左上に現在選択されているセルの状態を表示 している.上から汚染,利便性,人口,需要パラメータ の順で表示する.また,画面左下に追加することができ る状態を表示する.以下にその状態を示す.

- 「LAND」土地
- 「DIST 」 住宅地
- 「FACTORY」工業地
- 「UTILITY」公共施設
- 「CITY」 商業地
- 「STATION」 駅
- 「 増資 」 増資 コマンド

まず,適当な状態を上の項目から選択し,配置する.そして,シミュレーションは「start ボタン」を押すことによって開始される.Fig. 5-bに一定時間経過後の様子を示す.Fig. 5-bに示すように,一定時間経過後には,新たな要素が配置されていることがわかる.また,画面の左上の数値に注目すると数値が変化していることが確認できる.これにより,都市配列の変化により,各パラメータ配列も変化することがわかる.

5 まとめ

本報告では,都市開発における様々な問題解決,将来 決定の補助となるように,土地,山,水,住宅地,商業 地,工業地,駅の8つの要素によって,都市をモデリン グし,その発展のシミュレーションを行った.また,i アプリを用いることで,ゲーム感覚で出来るシミュレー ションシステムを構築できた.



(a) **初期画面**

(b) **一定時間後**

Fig. 5 **実行画面**

- 6 参考資料
 - セルオートマトン法、 http://pelican.nagaokaut.ac.jp/nlab/study/kato/study00/study00.html
 - シムシティーの仕組み、 http://simlabo.main.jp/educate/main.htm
 - Steven Holzner 著, Java プログラミング Black Book, インプレス社, 2002.