

## 対話型 GA を用いた都市景観創生に関する研究 主成分分析を用いた形態の分類

○小間 誠貴<sup>\*1</sup> 山邊 友一郎<sup>\*2</sup>  
谷 明勲<sup>\*3</sup>

キーワード：対話型 GA 都市景観 一対比較法 主成分分析

### 1. 序

都市景観とは、地域固有の町並みや景色を指し、地域ごとに様々な特色を持つ。その地域ごとに都市景観条例が定められ、その地域の環境や歴史の保全、地域固有の特性を育成するなどの都市空間の計画が行われている。更に、都市景観形成やまちづくりを行う際には住民の自主的な活動が重要であり、神戸市等の地方自治体でも市民に援助<sup>1)</sup>を行っている。都市の景観形成を最適化問題として捉えた場合、対象地域によって最適解は異なり、住民の意見やその地域の特性が大きく影響すると考えられるが、地域住民には専門知識のない場合も多く、このような人々の意見も反映可能なシステムが必要と考えられる。

既往研究として、オフィスビルのファサードを対象として、デザインの発想支援システムの開発<sup>2)</sup>は行われているが、より広範囲のオフィスビルの街並みなどの都市景観に対してのデザイン支援システムの研究があまり行われていないため、一つの建物だけでなく街並みを対象としたシステムも必要であると考えられる。そこで、本研究では、行政が都市を計画する際に、地域住民との意見の合意形成に使用できるシステムの開発を目的とし、その初期段階として、神戸市三宮の京町筋のオフィスビルをモデルとした仮想のオフィスビルの街並みモデルを作成し、このモデルを用いて都市景観の最適化システムを構築する。本研究には、人間の主観的評価を最適化システムに組み込むため、対話型進化計算法の一つである対話型遺伝的アルゴリズム(Interactive Genetic Algorithm、以降 IGA)<sup>3),4)</sup>を適用する。本研究では、既報<sup>5)</sup>と同様に都市景観の構成要素である建物の壁面位置(歩道からのセットバック距離)と高さ、テクスチャ(建物壁面のデザイン)を設計パラメータとし、ユーザの対話的操作による評価により都市景観を進化させるシステムを構築する。また、このシステムを用いてユーザ 10 人を対象に対話型進化計算を実行させ、適切な解が得られるかを検証する。更に、得られた結果を分析するために、多次元データの持つ情報をできるだけ損なわずに、低次元に情報を縮約し、データが持つ情報を理解しやすくなる主成分分析を得られた結果に適用する。そこで得た主成分分析結果の詳細な分析を行い、最適化で得られた都市景観の特徴を考察することを目的とする。

### 2. 都市景観最適化システム

#### 2.1 敷地設定

OpenGL を用いて、IGA による評価の対象となる都市景観を作成する。まず、図 1 に示す奥行き 200m×幅 70m の敷地を想定する。建物 1~20 を 20m×20m の区画に配置し、上端あるいは下端から 20m を建物の敷地の境界線、そこから 5m を歩道、車道を 20m と設定する。図 1 中の 20×20m の①~⑳の区画に建物を配置する。また、建物にはそれぞれ X(幅), Y(奥行き), Z(高さ)を設定する。全ての建物について、幅 X は X=20m で固定とし、奥行き Y は Y=10~20m を 2m 間隔、高さ Z は Z=20~40m を 4m 間隔で可変とする。また、テクスチャには図 2 に示す 8 種類を設定し、高さに応じてそれぞれ 6 通りのパターンを用意する。実際の都市景観の形成に際しては、建坪率や容積率の建坪率等の制限により、壁面位置と建物高さには一定の関係性があると考えられるが、本研究では歩行者から見た建物の形やその建ち並びのみを評価するものとする。このため、建物の構成要素を壁面位置、高さ、テクスチャの 3 つに限定し、複数の建物を同時に評価するため、その評価を行いやすいようにシンプルな設定としている。ユーザは、建物の壁面位置と高さ、テクスチャの 3 項目についてのみ評価を行うものとし、植栽等の他の要素は考慮しない設定とした。また、システムの単純化を図るため、図 1 中の車道を挟んで上下にある建物は奥行きと高さの形状は上下対称、テクスチャは同じ設定とする。更に、都市景観を評価する際に重要になるのが、歩行者目線での評価であると考え、設定した都市を 1 枚の 3 次元静止画像として提示するのではなく、ウォークスルー動画を提示することにより、より現実に近い形で都市景観の評価を行うことを目指した。本システムでは、図 1 に示す敷地の●をスタートして、左端から右端まで、矢印の方向に歩道をまっすぐ歩くようにウォークスルーを設定した。なお、カメラの高さは、人間の目線の位置の高さを考慮して 1.5m としている。

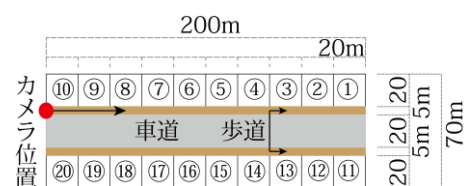


図 1 敷地設定

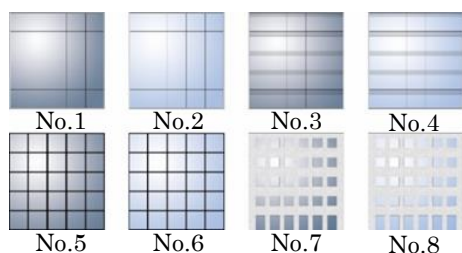


図2 テクスチャの設定 (5階建て：階高4m)

## 2.2 IGA の概要

本システムでは、都市景観案の提示、評価、遺伝的操作を繰り返し、都市景観を進化させる。ここでは、評価対象を建物の壁面位置と高さ、テクスチャに限定して、OpenGLにより都市景観案を作成し、ユーザに提示する。ユーザは提示された都市景観を一対比較法<sup>9)</sup>により評価する。システムは、ユーザにより入力された評価値に基づいて新たな都市景観案をGAにより生成する。図3にIGAを用いた本システムのフローチャートを示す。

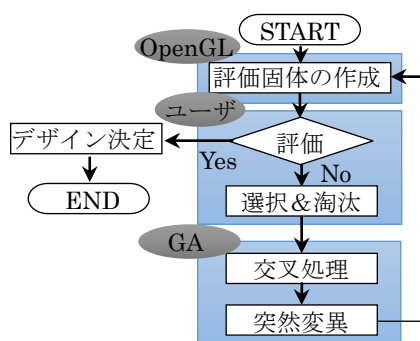


図3 IGAを用いた本システムのフローチャート

## 2.3 IGA の設定

本システムで用いる G-type(染色体)は、表1に示すように、各遺伝子座に10進数で表現される数値をもつ数値列で表現される。G-Typeは、遺伝子座0~9に建物1~10の敷地の上下端からの壁面位置を、遺伝子座10~19に建物1~10の高さを表す値が入るものとする。更に、遺伝子座20~29には建物1~10のテクスチャを表す値が入るが、遺伝子座10~19の建物の高さの値に応じて、テクスチャの階数(5~10階)は変化する。表1の場合、建物1は、遺伝子座0の「10」によって、敷地の上端から10mに壁面位置が設定され、遺伝子座10の「20」から高さ20mの建物が生成され、遺伝子座20の「1」と遺伝子座10の「20」から、図2のNo.1で5階建のテクスチャが選択される。建物1~10まで同様の処理を行い、建物11~20は、道路に対して対称に建物1~10をそれぞれ配置する。また、各遺伝子座の値の範囲は、遺伝子座0~9では10~20の偶数(10, 12, 14, 16, 18, 20)、遺伝子座10~19では20~40の4ごと(20, 24, 28, 32, 36, 40)、遺伝子座20~29ではテクスチャ8種(1~8)と設定する。

表1に示す G-Type を基に P-Type(表現型)を生成し、OpenGLで描画すると図4に示す都市景観が生成される。

## 2.4 モデルの表示数

対話型 GA の特徴として、評価部分を人間の操作で行うためユーザの疲労を考慮してモデル表示数を設定する必要がある。また、ユーザが各提示案の特徴を明確に理解し、容易に評価できる必要もある。さらに、提示案の評価に一对比較法を用いるため、一世代で提示される案の数が増加すると評価回数も増加し、ユーザの疲労も増加すると考えられる。このため、本システムでは一世代に提示する案の数は、図5に示すように4つとした。

表1 G-type での表現例

| 遺伝子座 | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  |
|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 染色体  | 10 | 14 | 16 | 14 | 20 | 12 | 18 | 16 | 10 | 14 |
| 遺伝子座 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| 染色体  | 20 | 28 | 40 | 32 | 24 | 36 | 40 | 32 | 40 | 24 |
| 遺伝子座 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 |
| 染色体  | 1  | 2  | 6  | 3  | 8  | 7  | 5  | 2  | 1  | 1  |

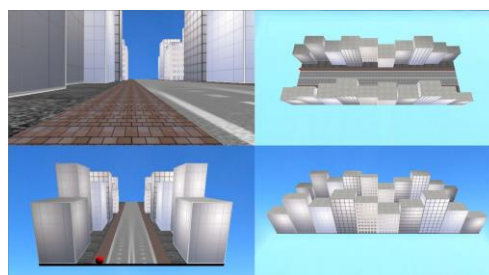


図4 G-type から P-type の表現

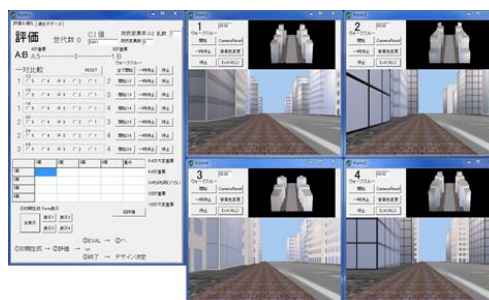


図5 ユーザへの提示例

## 2.5 遺伝的操作

本システムでは、一对比較法を用いて4つの都市景観案の重みを算出し、順位付けを行う。この最高順位の選択個数に応じて、表2に示す遺伝的操作により次世代 G-Type の生成を行う。

表 2 遺伝的処理方法

| 選択個数             | 遺伝的操作                                     |
|------------------|-------------------------------------------|
| 1 個              | 選択された案を残し、それを基に他の 3 つの案を突然変異させる。          |
| 1 個かつ重みの差 0.1 以下 | 選択された案を残し、その案と 2 位の案を基に他の 3 案に交叉・突然変位させる。 |
| 2 個              | 選択された案 2 つを基に、交叉・突然変異させ、新たに 4 案作る。        |
| 3 個              | 選択された案 3 つを基に、交叉・突然変異させ、新たに 4 案作る。        |
| 4 個              | 全ての案に突然変異処理をかけ、新たに 4 案を作る。                |

### 3. システムの実行

#### 3.1 実行環境

システムの被験者は、神戸大学建築学科の学部生 4 名と大学院生 6 名の合計 10 名として、仮想の都市空間の景観の評価を行わせた。最初に評価対象は、建物の壁面位置、高さでテクスチャのみに限定して行うことを被験者に伝えた。本報では、システムの実行をこの 10 名に対して以下の 2Case を実行した。Case1 では、壁面位置、高さ、テクスチャの 3 つを同時に評価し、Case2 では、最初に壁面位置を評価し、壁面位置に関して満足できれば、次に、最初に選択された壁面位置で固定し、高さの評価を行う。高さに関しても満足できれば、最後に選択された壁面位置と高さで固定し、テクスチャの評価を順に個々に行うものとする。なお、以下に示す実行結果では、被験者 10 人に 1～10 の番号を付し、i 番目(i=1～10)の被験者の実行結果をそれぞれ Case1-i、Case2-i と示す。なお、図 5 に示すように、被験者は、歩行者目線のウォークスルー動画と、補助的に都市を俯瞰して眺められるように、斜め上からの視点の 3 次元俯瞰図の 2 パターンの画像により評価を行うものとした。第一世代では乱数を用いて 4 種類の都市空間を生成する。終了判定では終了世代数を設けず、被験者自身が終了判定を行えるように、被験者が満足のいく結果を得られるまで続けるものとした。また、システムの終了後に被験者に対して、使いやすさ、疲れにくさ、選択の容易度、結果の満足度の 4 項目に関して 5 段階評価のアンケートを実施した。

#### 3.2 システムの実行結果

図 6～12 に Case2 の最適化結果の例を示す。また、各 Case の最適化結果の壁面位置と高さに対応する遺伝子に対して、その値の平均的な大きさを表す平均値と中央値を求め、更にばらつきを表す標準偏差（標準偏差 1）と隣り合う建物の関係性を見るために、隣り合う建物の遺伝子の値の差に対する標準偏差（標準偏差 2）の値を求めた。表 3 には Case2 の高さについての平均、標準偏差 1、中央値、標準偏差 2 の値を示している。この 4 つの値を用いて相関行列による主成分分析を行った。表 4 と図 13 に、Case2 の最適化結果の内、高さについての主成分分析結果を示す。



図 6 Case2-2



図 7 Case2-4



図 8 Case2-6

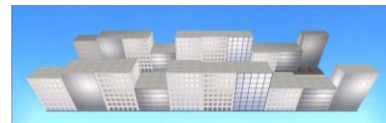


図 9 Case2-7



図 10 Case2-8



図 11 Case2-9

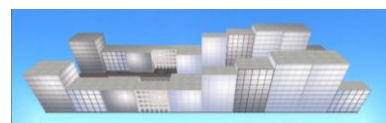


図 12 Case2-10

表 3 Case2（高さ）の結果

| Case   | 2-1  | 2-2  | 2-3  | 2-4  | 2-5  |
|--------|------|------|------|------|------|
| 平均     | 29.6 | 30.4 | 29.6 | 32.4 | 23.6 |
| 標準偏差 1 | 7.84 | 8.04 | 7.84 | 8.48 | 4.54 |
| 中央値    | 30.0 | 34.0 | 30.0 | 36.0 | 22.0 |
| 標準偏差 2 | 12.8 | 14.4 | 12.8 | 13.4 | 6.53 |

| Case   | 2-6  | 2-7  | 2-8  | 2-9  | 2-10 |
|--------|------|------|------|------|------|
| 平均     | 23.6 | 28.0 | 29.6 | 30.0 | 28.0 |
| 標準偏差 1 | 4.54 | 5.37 | 7.84 | 6.51 | 8.39 |
| 中央値    | 22.0 | 32.0 | 30.0 | 32.0 | 26.0 |
| 標準偏差 2 | 6.53 | 8.10 | 12.8 | 7.88 | 8.84 |

表 4 主成分負荷量と累積寄与率（Case2：高さ）

|       |        | 主成分 1 | 主成分 2  |
|-------|--------|-------|--------|
| 主成分   | 平均     | 0.530 | -0.263 |
|       | 標準偏差 1 | 0.490 | 0.551  |
|       | 中央値    | 0.485 | -0.681 |
|       | 標準偏差 2 | 0.494 | 0.405  |
| 累積寄与率 |        | 0.844 | 0.951  |

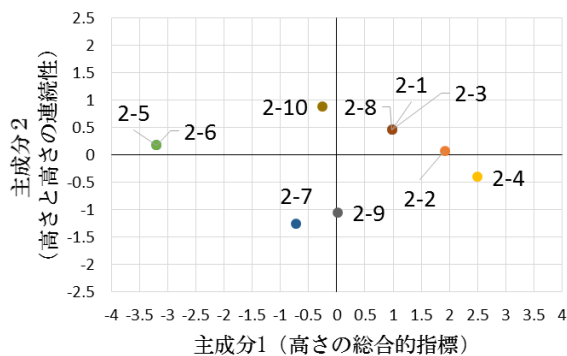


図 13 第 1-2 主成分得点による相関図 (Case2 : 高さ)

#### 4. 考察

図 13 に示す Case2 の高さに関する主成分分析の結果から、最適化された都市景観の図 6 の Case2-2 と図 8 の Case2-6 を比較すると、Case2-2 は建物の高さが高く、高さのばらつきも大きい、Case2-6 は高さが低く、ばらつきも小さいという違いが見られた。また、表 4 より主成分 1 の軸は値が大きいほど、建物の高さが高く、ばらつきも大きい特徴が見られるので、主成分 1 は全ての変量を総合的に考慮した「高さの総合的指標」を表していると考えられる。また、図 11 の Case2-9 と図 12 の Case2-10 を比較すると、Case2-9 は建物の高さが少し高く、高さのばらつきは小さい。Case2-10 も高さの平均は平均的だが、中央値が低く、隣り合った建物の高さの差はあまりないが、全体的な高さのばらつきがやや大きいという違いが見られる。主成分 2 は建物の高さを表す平均と中央値の 2 つと高さのばらつきを表す標準偏差 1 と標準偏差 2 の 2 つを比較して、高さのばらつきの値が大きいほど主成分 2 の値が大きくなり、高さの値が大きいほど主成分 2 の値が小さくなるという特徴が見られるので、主成分 2 は建物の「高さで高さの連続性」を表していると考えられる。

図 9 の Case2-7 と図 11 の Case2-9 では、図 13 のグラフには近い位置にプロットされ、建物の高さの変化が少なく、比較的高さの特徴が似た景観となっている。また、Case2-2、Case2-4、Case2-8(図 6, 7, 10)を比較すると、3Case とも高さの変化は大きい、この 3Case には建物の平均的な高さに差があり、この差が主成分 1 に影響していると考えられる。以上より、平均、標準偏差 1、中央値、標準偏差 2 の 4 つの変量を用いることで、本システムで得られた結果を主成分分析により、特徴ごとに分類できると考えられる。

この Case2 の高さに関する主成分分析では、主成分 1 が大きいほど、建物の高さは高く、高さのばらつきも大きくなる。反対に主成分 1 が小さいほど、建物の高さは低く、高さのばらつきも小さくなる。さらに、主成分 2 の値が大きくなるほど、高さは比較的低い建物が多くなり、高さが連続的に変化している傾向が見られ、値が小さくなるほど、高さは平均的にやや高くなり、高さが揃っているか、高さの変化は小さくなる傾向が見られた。

以上の様に、主成分分析を用いたユーザが好む都市景観の特徴の分析は、ユーザに好まれる特徴を持った都市景観を提示する方法や、不特定多数のユーザが好む都市景観の特徴をデータベースに蓄積し、より多くの人が好む都市景観を提示する等の方法等への応用が可能と考えられる。そのため、今後、都市景観問題での合意形成への活用を目指した、本研究で用いた主成分分析結果に基づく合意形成方法に関する検討を行う必要があると考える。

#### 5. 結

本研究では、壁面位置と高さ、テクスチャの 3 つの要素に限定して、IGA によるユーザの主観的評価を反映した都市景観創生システムを構築した。さらに、主成分分析を用いて最適化された都市景観の特徴の分類を行い、以下の結論を得た。

このシステムによって得られた結果に対して主成分分析を用いることで、ユーザが好む都市景観を数値化し、主成分得点による相関図で分類することができた。特に高さに関しては、図 13 に示すように、平均的な高さや高さのばらつきの特徴を主成分得点で数値化し、相関図を用いて分類できることを明らかにした。また、合意形成を行うためには、主成分分析を用いた新たなアルゴリズムの検討が必要となる。

都市景観の問題は、その地域の住民全体の問題であるため、不特定多数の意見を反映させる必要がある。そこで、今後は実際の都市景観問題への適用性を考慮し、本研究での主成分分析を使用し、Web サーバー等を用いた、複数の意見を反映できる合意形成方法の検討を行う必要がある。

#### [参考文献]

- 1) 神戸らしい都市景観をめざして(景観関連情報トップページ)、(<http://www.city.kobe.lg.jp/information/project/urban/scene/>、2016.10.5 閲覧)
- 2) 河野高英、堤和敏：オフィスビルのファサードを対象としたデザイン発想支援システムの開発 その 1. IDE(Interactive Differential Evolution)固体選択パターン法の検討、知能と情報(日本知能情報ファジィ学会誌)、Vol.23、No.1、pp54-64、2011。
- 3) 北野宏明：遺伝的アルゴリズム 4、産業図書、初版、pp.77、pp.325~351、pp.397~438、2000。
- 4) Atsushi Takizawa, Hiroshi Kawamura and Akinori Tani : Furniture Design Support System by Interactive Evolutionary Computing、Proceeding of Second Asia-Pacific Conference on Genetic Algorithms and Applications、pp.48-56、2000。
- 5) 小間誠貴、山邊友一郎、谷明勲：対話型 GA を用いた都市景観創生に関する研究、第 38 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集(報告)、pp.177-180、2015。
- 6) Satty, T., I. : The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill, 1980。

\*1 神戸大学大学院工学研究科・大学院生

\*2 神戸大学大学院工学研究科・准教授・博士(工学)

\*3 神戸大学大学院工学研究科・教授・博士(工学)