

対話型 GA を用いた都市景観創生に関する研究

○小間 誠貴*1 山邊 友一郎*2
谷 明勲*3

キーワード：対話型 GA 都市景観 一対比較法 設計支援

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。また、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。さらに、都市景観の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¹⁾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、対象とする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。そこで、本研究では、人間の主観的な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)^{2),3)}を適用する。本研究では、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て、ユーザの対話的操作により評価を行い、都市景観を進化させるシステムを構築する。本研究では、IGA を用いたシステムを構築し、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とともに、システム実行後のユーザに対するアンケート結果を基に、本システムの有効性の検討を行うことを目的とする。

2. システム概要

2.1 都市景観形成システム

OpenGL を用いて、IGA による評価の基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。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)が設定される。全ての建物について、幅 X は X=20m で固定とし、奥行き Y=10~20m を 2m 間隔、及び高さ Z=20~40m については、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 通りのパターンがある。ユーザは、建物の壁面位置と高さ、テクスチャの 3 項目について評価を行うものとし、植樹等の他の要素は含ま

ない設定とした。また、システムの単純化を図るため、車道を挟んで上下対称の形状となる建物配置となるよう設定した。また、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●の左端から右端まで、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。

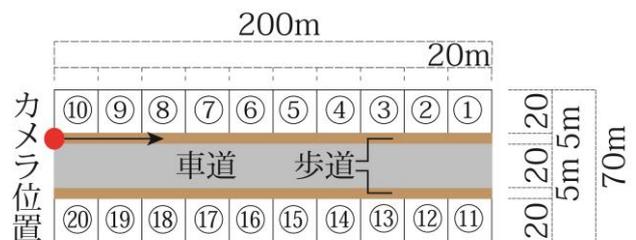


図 1 敷地設定

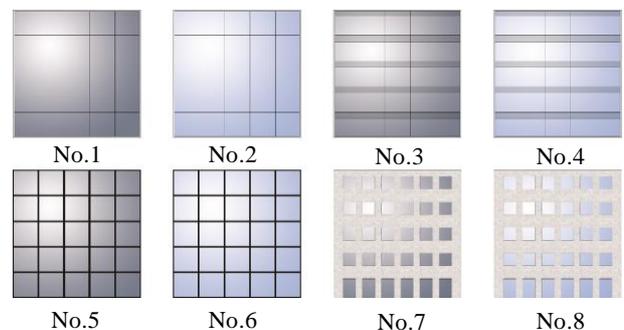


図 2 テクスチャの設定

2.2 IGA

2.2.1 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^{4),5)}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 のフローチャートを示す。

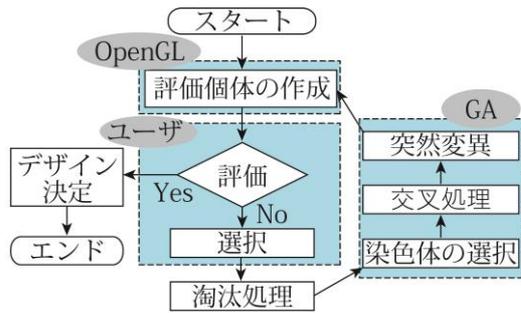


図3 IGAのフローチャート

2.2.2 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となる。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 に建物 1~10 のテクスチャを表す値が入るが、テクスチャを表す値の二桁目の値が図 2 に示したテクスチャの番号の値を表す。また、今回設定したテクスチャは高さに応じて、同じ番号のテクスチャでも階高 (5~10 階建) が変化するため、一桁目の値は該当する建物の階高を表す(5~10 階建=「0~5」)。例えば、表 2 の場合、建物 1 では、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」によって高さ 20m の建物が生成される。遺伝子座 20 の「10」によって、5 階建てで図 2 の No.1 のテクスチャが選択される。建物 1~10 まで同様の処理が行われ、建物 11~20 については、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) と階高(0~5)を表す値(10~15, 20~25, 30~35, 40~45, 50~55, 60~65, 70~75, 80~85)を設定する。

本システムでは、G-Type にランダムに与えられた遺伝子座の値から、対応する建物の奥行 Y 及び高さ Z の値、テクスチャの種類が決定される。また、表 2 に示す G-Type を基に P-Type 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。

2.3 モデルの表示数

対話型 GA の特徴として、評価部分を人間が操作するためユーザの疲労を考慮する必要がある。そのため、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がある。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。

2.4 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 3 に示す遺伝的操作により次世代 G-Type の生成を行う。

表 1 染色体 (G-type) の設計

遺伝子座	0	...	9	10	...	19	20	...	29
染色体	20	...	10	40	...	24	45	...	11

表 2 G-type での表現

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	10	22	65	33	81	74	55	23	15	11

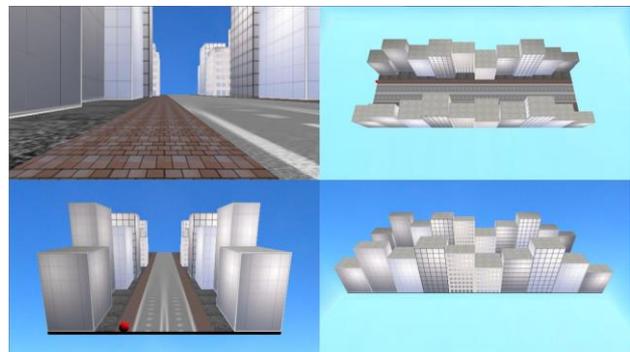


図 4 G-type から P-type の表現

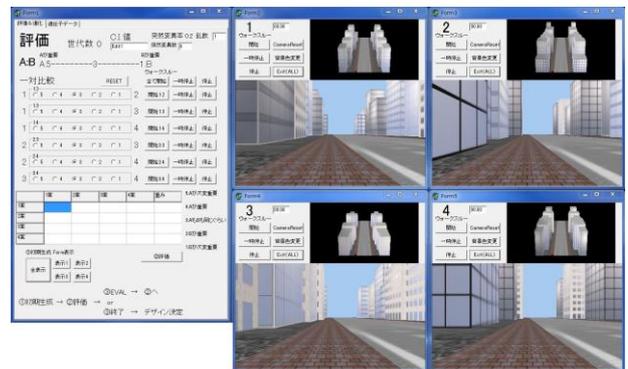


図 5 ユーザへの提示例

表 3 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・突然変異させる。
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。評価対象は、建物の壁面位置、高さ、テクスチャのみに限定して行うことを被験者に伝えた。また、システムの実行を同じ10名に対して以下の2ケース実行した。Case1:壁面位置、高さ、テクスチャについて同時に評価する。Case2:最初に壁面位置の評価を行い、次に高さ、最後にテクスチャの順番で評価する。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。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し、システムはスタートする。一対比較法による評価を行った後、終了判定と遺伝的処理を行うが、終了判定は終了世代数を設けず、被験者が満足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6~9にCase1とCase2のシステム実行結果の一例と表4にCases1-1,2とCases2-1,2の壁面位置と高さについて、各ケースの遺伝子の値の平均、標準偏差、最小と最大値、さらに隣り合った建物の遺伝子の値の差についての標準偏差と差の最大値を示し、表5にCase1, Case2の実行結果での各テクスチャの存在している割合を示す。また、図7にはCase1-1とCase2-1の各世代での重みの標準偏差の推移を示し、表6にシステム終了後のアンケートと収束世代の結果を示す。

4. 考察

Case1では、表6のアンケート結果より結果の満足度が平均4.2と概ねユーザの満足できる結果を得ることが出来た。また、表5に示したテクスチャに関して、No.4とNo.3と似たテクスチャが多く残る結果となった。Case1-1とCase1-2では表4の壁面位置の標準偏差や隣の値の差の標準偏差では同程度の値であったが、高さに関しては大きく差のある結果となった。これより、壁面位置は比較的似た景観であるが、高さに関してはCase1-1が凹凸の大きい景観、Case1-2ではなだらかに変化している都市景観であるといった違いが見られる。

Case2では、表6より結果の満足度が平均4.2とCase1と同様に概ね満足できる結果が得られた。しかし、表5のテクスチャに関して、図2のNo.7, No.1で全体の4

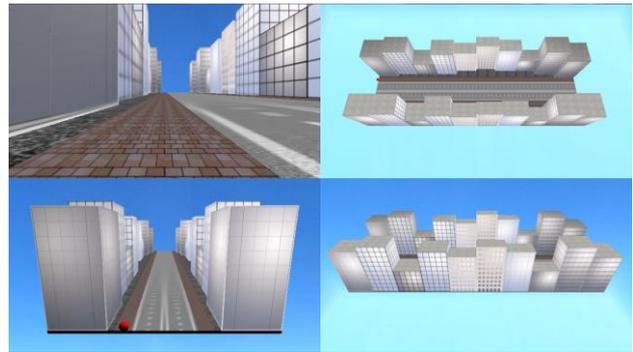


図6 Case1-1の実行結果

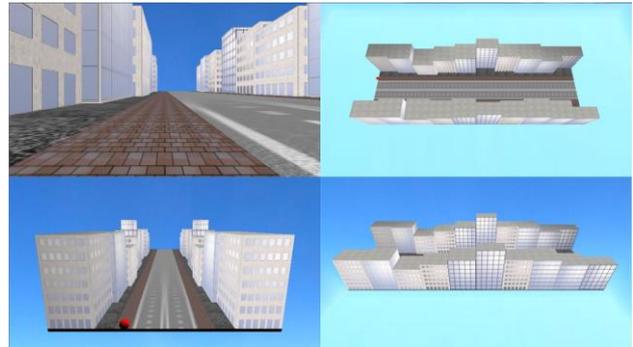


図7 Case1-2の実行結果

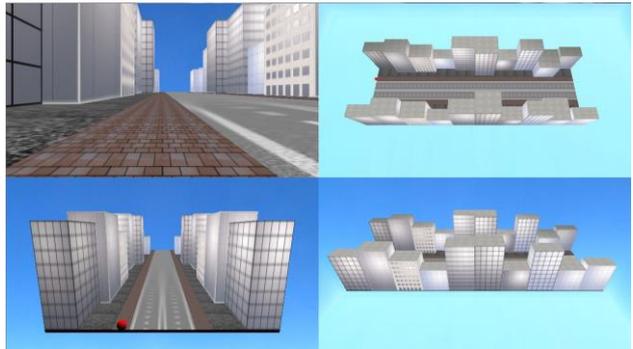


図8 Case2-1の実行結果

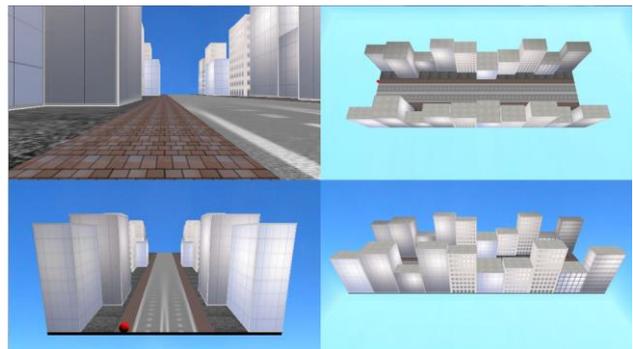


図9 Case2-2の実行結果

割近くを占める結果となったが、初期の個体数の割合に偏りが見られた。Case2-1とCase2-2の壁面位置と高さに関して、表4より、比較的近い値を示し、壁面位置は凹凸の少なく、高さは凹凸の激しい都市景観となった。

Case1とCase2を比較して、表6より疲れにくさと選択の容易度ではCase2の方がやや高い値を示し、個別に評価した方が評価はし易いが、Case2では最低3回の評

価が必要であるため、収束までの世代が多くなるという結果になった。また、図7ではCase1-1の様にCase1では世代が進むにつれて重みの標準偏差が小さくなり、重みのバラつきがなくなる傾向が見られたが、Case2では0,1世代では壁面位置の評価、2世代で高さ、3世代でテクスチャについて評価を行っているが、図7のCase2-1の様に評価する要素が変化すると重みの標準偏差が大きくなり重みのバラつきが大きくなる傾向が見られた。

また、同一人物が行ったCase1-1とCase2-1を比較すると、同じ様な都市景観の結果となったが、Case1-2とCase2-2を比較した場合は、特に高さに関して大きく異なった結果となった。同一人物でもCase1とCase2を比較して、異なる結果になる場合が何例か見られるため、

表4 Cases1-1,2とCases2-1,2の壁面位置と高さのまとめ

壁面位置	1-1	1-2	2-1	2-2
平均	14.8	14.6	13.2	13
標準偏差	3.16	2.67	3.43	3.56
最小	10	10	10	10
最大	20	18	20	20
隣同士の差				
標準偏差	2.73	3.57	5.83	5.66
差の最大	4	6	10	8

高さ	1-1	1-2	2-1	2-2
平均	33.2	26.8	29.6	30.4
標準偏差	7.55	4.24	8.26	8.47
最小	20	20	20	20
最大	40	36	40	40
隣同士の差				
標準偏差	13.6	5.5	13.5	15.3
差の最大	20	8	20	20

表5 システムの実行結果：テクスチャ(Case1&Case2)
Case1

TextureNo.	4	3	6	7	2	8	1	5
最終割合(%)	18	17	16	16	15	7	6	5
初期割合(%)	15	12.5	17.5	12.5	10	12.5	10	10

Case2

TextureNo.	7	1	3	8	2	6	5	4
最終割合(%)	20	18	15	14	12	12	5	4
初期割合(%)	16.5	19.8	9.75	12.5	15.8	10.8	10.3	4.75

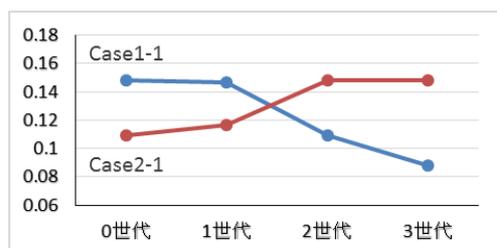


図7 重みの標準偏差の推移の比較

表6 アンケート結果と収束世代のまとめ(5が最良)

システムの評価	Case1	Case2	
使いやすさ	3.6	3.2	
疲れにくさ	3.4	3.6	
選択の容易度	3.3	3.4	
結果の満足度	4.2	4.2	
平均収束世代	3.4	5.0	
Case2	壁面位置	高さ	テクスチャ
平均収束世代詳細	2.3	1.8	1.9

評価する順序も得られる結果に対して影響する可能性があると考えられる。

5. 結

本報では、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。本システムを用いた2ケースのシステム実行結果より、以下の結論を得た。

本システムで、3つの要素で最適化を行ったが、ユーザの満足のいく結果が得られた。また、Case1では評価が進むにつれ、重みの標準偏差が減少する傾向が見られ、最適な都市景観に進化している結果が得られた。さらに、Case1は平均収束世代が速く、Case2は選択が容易で、疲れにくいという評価方法ごとの特徴が得られた。しかし、評価方法により同一人物であっても結果が異なる場合もあり、評価する要素の順序を含めた評価方法についての検討が必要である。更に、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。今後の課題としては、ユーザの意見や選択された都市景観について数値化できる分析方法と実際の都市景観問題に適用するための複数の意見を反映できる合意形成方法の構築が必要となる。

【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/>) (2015.1.27 閲覧)
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) Satty,T., I. : The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill, 1980.
- 5) 刀根薫: ゲーム感覚意思決定法、日科技連、第13刷、pp.2-46、2006.

*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(工)

*3 神戸大学大学院工学研究科・教授・博(工)