

# 行動特性をもとにした空間の自動生成

○林田 和人\*1 渡辺 仁史\*2

キーワード：行動特性 遺伝的アルゴリズム 空間 生成

## 1. はじめに

建築や都市空間の設計時には、法規や構造という制約条件を満たす中で、人間の行動などを考慮し、安全で、豊かな魅力ある空間を創造することが設計者には求められる。このように設計の場面では、数多くの側面から空間の可能性を考え、設計案を評価し、その中でも最良の設計案へと帰結していくわけであるが、設計条件が膨大なあまり、人間の行動への配慮が至らず混雑を生じる、利用されないなど不都合のある空間を設計してしまう可能性が高くなる。設計時に参照すべき空間における人間の行動に関する研究成果にも問題があり、設計者が研究成果を参照しやすい仕組みを提示できていないのが現状である。また、成果自体が空間を変数としたモデルでない場合には、空間計画に直接参考にするできないため、設計者に分かりやすく、そして設計者が正しく使えるモデルの構築が必要である。

研究者は、多くの側面から設計案を検討することを求められる設計者に対してさまざまな知見を提供してきたが、研究成果の使いやすさについての検討は不十分であった。これに対しては、研究成果を集めてデータベース化し、設計のプロセスや内容に合わせて必要な知見を自動的に提示するシステムが考えられるが、設計者が積極的にシステムにアクセスしなければならないという手間があることは否めない。そこで、研究成果の知見から最適な空間の解を求める過程で生成される形態を設計の参考にするという、逆計算的な視点が考えられる。

この最適解探索は、建築の構造分野において部材の最適配置の探索、また建築計画においては施設配置などの問題を解く場面で活躍してきた。ここで、評価関数として人間の行動特性を考えた場合、それを満たす創発的な空間が自動的に生成されるというシステムは興味深い。最適解探索には遺伝的アルゴリズム (GA) が使われることが多く、空間の配置を考える場合には空間の寸法や位置を2進数に置き換える方法、またメッシュ空間自体を遺伝子にたとえるアプローチがある。

空間形態の創発をテーマにした場合、制約条件のパラメータを変更し形態を産み出すパラメトリックデザインが考えられるが、空間での人間行動を制約条件としたアプローチではなく、形態の面白さという評価軸が主流である。人間の行動をもとにしたパラメトリックデザインによる形態生成は画期的であるが、パラメータを調整し

ない限り、先に述べた最適解探索のように行動というエビデンスを持った空間を自動的に生成するものではない。

この人間行動特性をもとにした形態の自動生成システムが実現すれば、多忙な設計者に見過ごされ埋もれていた研究成果が生成のための制約条件として生かされ、行動特性が参照されることでデザインの質が安定する。

## 2. 研究目的

そこで本研究の目的は、メッシュで表現された空間において、人間の行動特性を評価関数とした遺伝的アルゴリズムにより施設の最適な設置場所を探索するシステムを作成し、遺伝的アルゴリズムにおけるメッシュ表現の妥当性や、生成される設置空間の候補についての正確性を検証することである。

## 3. 形態生成をめぐる従来の研究

空間の自動生成については、現在脚光を浴びているパラメトリックデザインがあるが、さまざまな形態を生成する部分に注目が集まり、制約条件についてはあまり議論されることはないのが現状である。この制約条件部分に、人間の行動特性を考慮したモデルを適応すれば、生成される形態も人間の行動といった面からの評価ということで価値が出てくる。

また、自動生成については最適解探索過程で生成される形態を参考にすることも考えられる。この最適解探索は、評価関数を満たす最適な解をいち早く探し出すことが本来の目的である。建築の構造分野では耐震壁や部材の適切な配置場所を素早く見つけ出すことが求められるため、遺伝的アルゴリズムを用いた最適解探索が多くの成果をあげてきた。建築の計画分野でも、この遺伝的アルゴリズムを用いて、コストや、避難時間を制約条件とした地域施設の配置問題において適用されてきた。

最適解を早く見つけ出すために最適解探索アルゴリズムを用いる方向と並行し、最適解探索の過程で派生する形態に注目し、これを形の創発としてデザインに利用する流れもある。建築計画の分野では、プランの配置問題を解く過程での形態生成に注目したものや、3次元の形態、土地利用に注目した研究などもある。ただしいずれもコストや構造的側面からの制約条件で、たとえ人間に関わる制約条件であったとしても歩行距離などの一般的な行動特性をもとにするのみで、行動に関するこれま

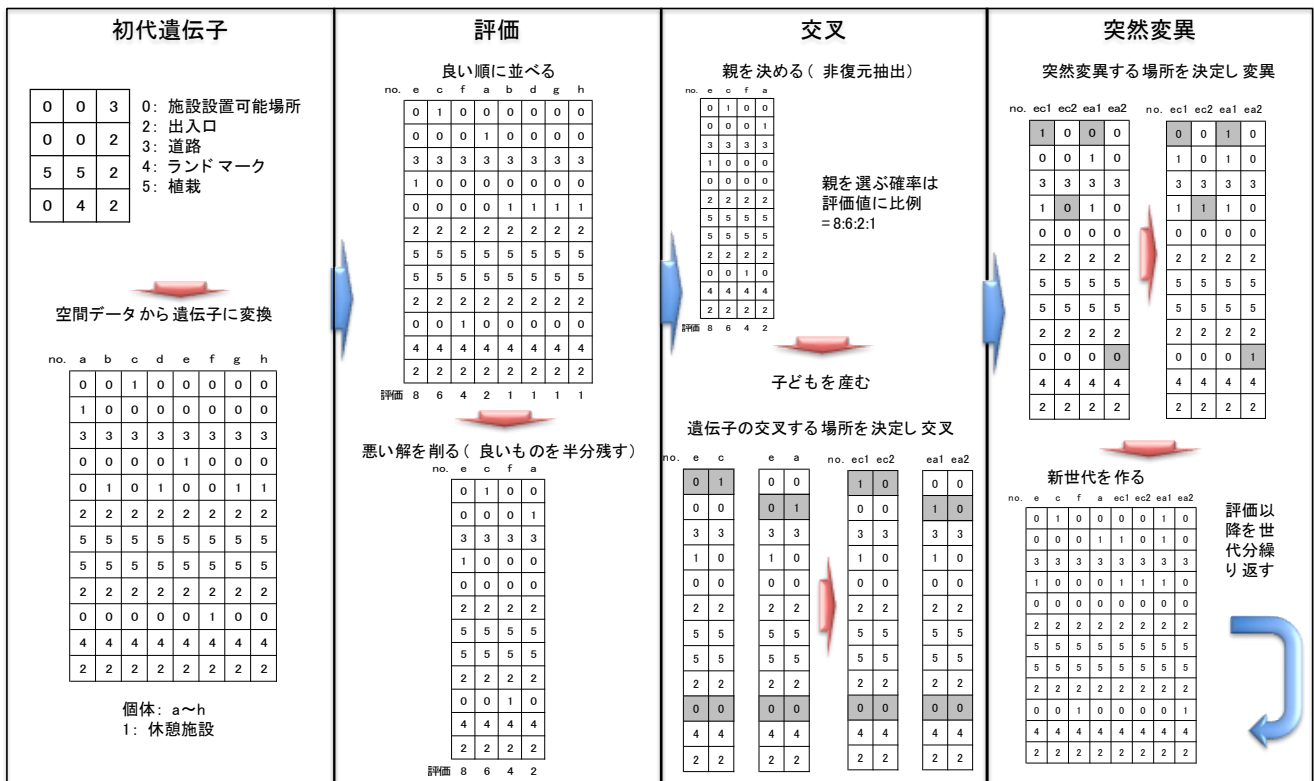


図1 行動特性をもとにした最適解探索アルゴリズム

での数多くの研究成果を利用するものではない。

以前筆者らは、行動特性をもとにし、遺伝的アルゴリズムを用いた空間の生成<sup>文1)</sup>を提案した。今回はこの考えを踏襲し、今後さまざまな行動特性を制約条件として形態を生成するシステムの可能性を探る。

#### 4. 空間の自動生成システム

##### 4.1 行動特性をもとにした最適解探索(図1)

休憩場所の選択に関わる行動特性を評価関数とし、一般的な遺伝的アルゴリズムの手続きに従い、広場空間における最適な休憩施設の場所を生成する仕組みを作成した。今回はプログラムの明快さのため、メッシュで表される空間の属性を遺伝子とした。

具体的手順は、まず各メッシュの空間属性を数値として持つ行列データをベクトルに変換することで、初代の遺伝子をコーディングした。遺伝子列を評価関数により評価し、評価の高いものを半分残し、残った遺伝子列から同じ遺伝子列がペアにならないように非復元抽出により親を選択して交叉し、評価が低いため削除したと同数の新しい遺伝子列を生成した。なお、すべての試行で個体数は12、1遺伝子列あたり50%の遺伝子で交叉した。

次に、新しい遺伝子列1つにつき1箇所の確率で遺伝子に突然変異を施し、評価が高く残されていた遺伝子列と合わせ新世代を形成した。そして、指定した世代分評価以降を繰り返すことで、評価関数を満たす最良の遺伝子列の探索を行った。

今回のシステムは、プログラムの拡張性の自由度を優先し、パッケージを利用せずR言語の環境で構築した。

##### 4.2 遺伝子列の評価関数

本研究では、休憩時における着座場所の選択に関する行動特性<sup>文2)</sup>を評価関数とし、休憩施設設置場所について探索を行った。

文献2では、早稲田大学工学部中庭において、被験者115名により実験を行った。具体的には、年齢(高齢者、社会人、学生)、性別(男性、女性)、構成人数(1人、2人、家族・グループ、カップル)、目的(飲み物だけ、食べ物、疲れて休憩/荷物なし、疲れて休憩/荷物あり)、出発と到着(メインストリート→バックストリート、メインストリート→メインストリート、バックストリート→メインストリート、バックストリート→バックストリート)の組み合わせで、休憩場所の選択傾向を探っている。

以下のように、「通路幅(X1)」、「動線との距離(X2)」、「出発地点からの距離(X3)」、「着座点からの視野内に入る植栽量(X4)」、「植栽による囲われ感(X5)」、「ランドマーク(以降lm)からの距離(X6)」の6変数を用いて、休憩時の着座場所として選択される確率をロジスティック回帰分析によりモデル化している。

$$1/1+\exp\{-(a0+a1*x1+a2*x2+a3*x3+a4*x4+a5*x5+a6*x6)\}$$

a0: 切片

a: 回帰係数

本研究では、計算の煩雑さから「着座点からの視野内に入る植栽量」、「植栽による囲われ感」の2変数を省い

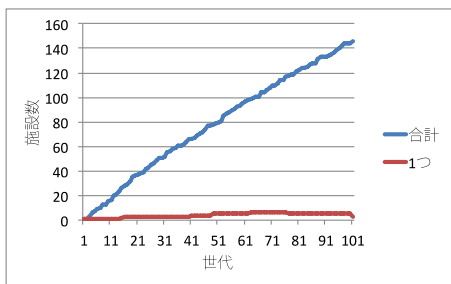


図2 各世代の施設数

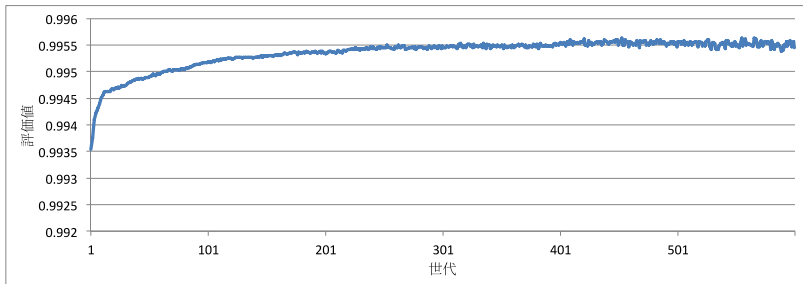


図3 世代ごとの評価値

た4変数により、「1人\_荷なし」、「2人\_荷なし」、「家族-食」の3属性の回帰式により評価した。係数は以下のとおりである。

「1人\_荷なし」:

$$1/(1+\exp(-(-6.03191104+0.0000769*X1+-0.0000985*X2+-0.0000408*X3+-0.0000873*X6)))$$

「2人\_荷なし」:

$$1/(1+\exp(-(-2.32223828+0.00014643*X1+0*X2+-0.0001371*X3+0*X6)))$$

「家族-食」:

$$1/(1+\exp(-(-2.78136885+0*X1+-0.0000763*X2+0*X3+-0.0001853*X4)))$$

本研究において探索を行う空間としては、広場を想定した21×21メッシュで、以下の6つの空間を設定した。

「動線-周囲、出入口-右上、lm-中央、通路-普通」

「動線-右、出入口-右上、lm-中央、通路-普通」

「動線-右、出入口-右上、lm-左下、通路-普通」

「動線-周囲、出入口-周囲、lm-中央、通路-普通」

「動線-周囲、出入口-左右、lm-中央、通路-普通」

「動線-周囲、出入口-右上、lm-中央、通路-狭い」

なお6番目の空間は、植栽を増やすことで通路幅を狭くしている。

### 4.3 遺伝的アルゴリズムでの挙動

・施設数の増加

最適解探索の際、今回は空間をメッシュで表現し各メッシュの属性を遺伝子として取り扱った。遺伝子が空間と対応しているため取り扱いはしやすいが、突然変異の際に施設が増加してしまう問題がある。図2は、評価する際に、施設全体の評価値の合計と施設1つあたりの評価値で評価する場合の施設数の増加の様子である。合計

での評価の場合は施設数を多く生成した方が評価値は上がるため、施設数を増やす方向に遺伝子が交叉される傾向がある。合計ではなく施設1つあたりの評価値で評価した場合も、突然変異の場合には施設数を増やすことを許しているため多少施設は増加するが、今回はメッシュを遺伝子とみなす方法の利点を優先し、ある程度の施設の増加を許容し「施設1つあたりの評価値」でシステムを構築した。なお、施設は1、「1人\_荷なし」、空間は「動線-周囲、出入口-左右、lm-中央、通路-普通」で試行した。

・世代ごとの評価値

図3は、1000世代試行した際、各世代で生成される12の遺伝子の、1つあたりの評価値の推移である。これを見ると、300世代あたりで最適解が探索されているが、5章の探索は計算時間の都合上100世代で行った。なお、施設は10、「1人\_荷なし」、空間は「動線-周囲、出入口-左右、lm-中央、通路-普通」で試行した。

### 5. 自動生成された空間の評価

図4~6においてメッシュの空間属性は、「出入口」:青、「道路」:橙、「ランドマーク」:赤、「植栽」:紫で示している。「最適解」では、施設設置可能場所すべてを評価し、評価の高い部分を緑のグラデーションで濃く表し、最も評価値の高かったメッシュを濃い緑で表現している。「探索」については、100世代の遺伝子が休憩施設として探索したすべてのメッシュを合計し、頻度の高い部分を緑のグラデーションで濃く表している。

#### 5.1 属性の違いによる最適解探索 (図4)

空間「動線-周囲、出入口-右上、lm-中央、通路-普通」において、施設10、3属性で試行した。

「1人\_荷なし」は動線から近い、「2人\_荷なし」は出

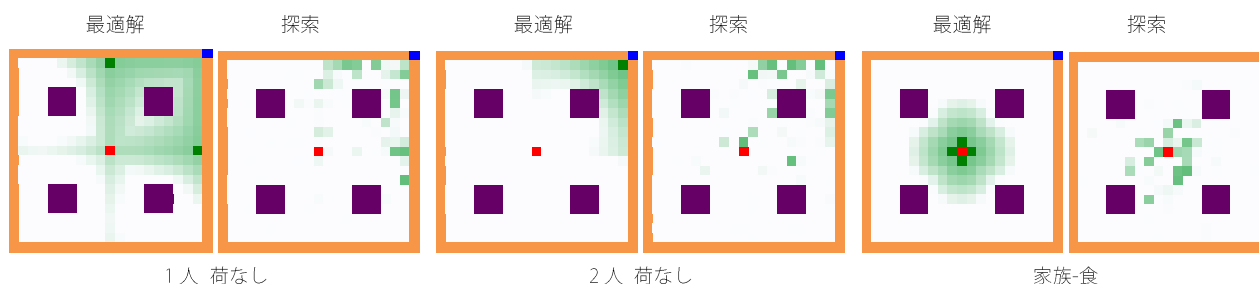


図4 属性の違いによる最適解探索

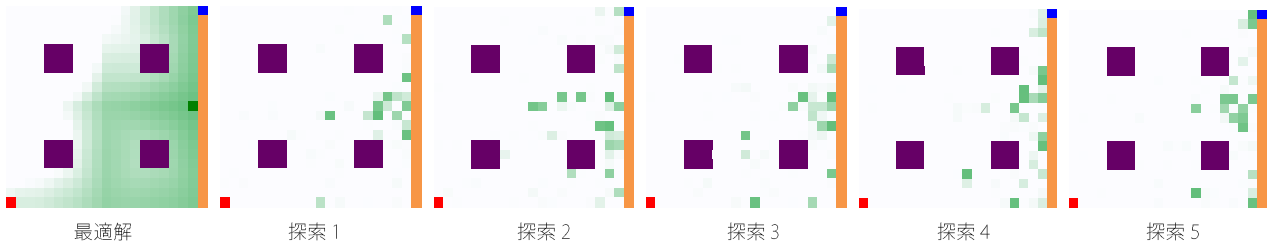


図5 同じ空間での最適解探索

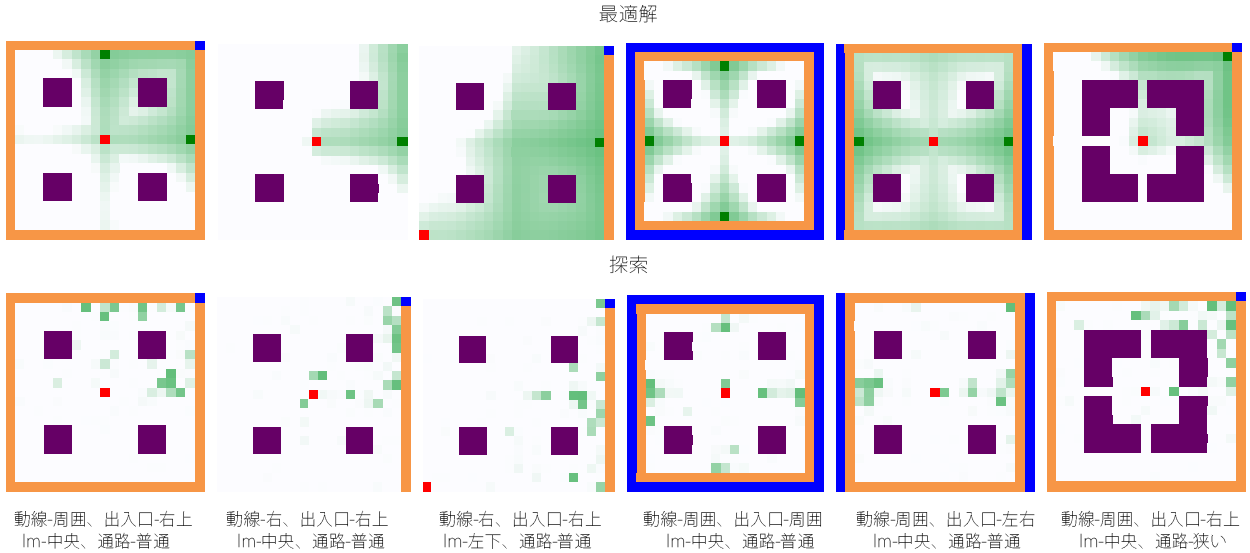


図6 異なる空間での最適解探索

発地点から近い、「家族-食」はランドマークから近いほうがモデルの評価値は高くなるが、いずれの属性についても、「最適解」の評価値の高い部分が「探索」でも選ばれる頻度が高く、遺伝的アルゴリズムが評価値の高いメッシュを選択できていくことが分かる。ただし、「最適解」の最も高いメッシュに探索が集中するのではなく、その近辺も探索していることが分かる。

### 5.2 同じ空間での最適解探索 (図5)

空間「動線-右, 出入口-右上, lm-左下, 通路-普通」において、施設 10、「1 人\_荷なし」の設定で、5 回探索を試行した。

いずれの試行とも、「最適解」の評価の高いメッシュで探索頻度は高いが、必ずしも同じ探索結果となっていないことが確認できる。

### 5.3 異なる空間での最適解探索 (図6)

4.2 で示す 6 種類の空間において、施設は 10、「1 人\_荷なし」で探索した。

いずれの空間においても、「最適解」の評価の高いメッシュ近辺を探索しているが、必ずしも最も評価の高いメッシュだけを選んでいくわけではない。

## 6. まとめ

広場空間における休憩施設の設置場所の問題を対象

とし、最適解の探索試行を行った。

今回は物理的な空間との対応を考えやすくするため、空間をメッシュで表しそれを遺伝子として取り扱った。これは、プログラムの分かりやすさには効果があったが、突然変異の際に施設に対応した遺伝子 1 が増加する現象が起きた。これを制限するため、突然変異の方法の工夫が必要であることが分かった。

また、最適解探索過程で生成される設置候補は最適解近辺での生成が確認されたが、必ずしも最適解のみの生成ではなかった。この生成解のパリエーションが設計時における形態発想のヒントになり得ることを確認した。

### [参考文献]

- 1) 林田和人, 小作怜, 橘木卓, 曹波, 木村謙, 渡辺仁史: 遺伝的アルゴリズムを用いた人間行動に基づく建築平面最適化システム, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-2, 1999. 9, pp. 431-432
- 2) 阿部真大, 林田和人, 江原徹朗, 渡辺仁史: 広場において属性・目的別に着座場所として好まれる空間に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 E-1, 2009. 8, pp. 769-770

\*1 早稲田大学 理工学総合研究所 客員准教授・博士(工学)

\*2 早稲田大学 理工学部建築学科 教授・工学博士