

遺伝的アルゴリズムを用いた建物分布予測シミュレーション

神戸大学工学部 正会員 富田安夫

神戸大学大学院 学生員 服部泰典

神戸大学大学院 学生員 寺嶋大輔

1. はじめに

持続可能な都市づくりのために、都心機能の再生や都心居住の促進が求められているが、これら施策の計画立案のためには、施策実施後にどのような建物分布が実現するかを事前に予測・評価し、適切な土地利用規制や経済的インセンティブ政策等を実施することが必要となる。そのため、昨年度において、敷地レベルにおける建物立地を予測する建物分布予測モデルを開発した。しかしながらその予測方法が課題として残った。そこで本研究では、建物分布予測方法を定式化し、この問題の解法として遺伝的アルゴリズムを用いた方法を提案している。遺伝的アルゴリズムの適用にあたっては、制約条件を含む問題を簡便かつ効率的に解くために2重構造の遺伝子配列を用いている点に特徴がある。

2. 建物分布予測方法

実現する建物分布は、その再現確率（尤度）が最大となる建物分布であると仮定する。この再現確率は、昨年度のモデル¹⁾により与えられる建物階数選択確率を用いると、式(1)のように定式化できる。式(2)は街区全体の床面積の上限下限制約である。ここで、床面積制約は、街区全体の総床面積として与えるものであり、本来なら等号制約とすべきところであるが、等式を厳密に成り立たせるのは決定変数が離散変数であることから不可能であるため、便宜上、上下限制約として与えている。また、式(3)は各敷地で実現する高さが1通りしかないと表している。なお、この問題における決定変数は δ_i^l である。

$$L = \prod_i \prod_l p_i^{l \delta_i^l} \rightarrow \text{MAX} \quad \cdots(1)$$

s.t.

$$b^l \leq \sum_i \sum_{l=0}^L A_i^l \delta_i^l \leq b^u \quad \cdots(2)$$

$$\sum_{l=0}^L \delta_i^l = 1 \quad \text{ただし } \delta_i^l = 0 \text{ or } 1 \quad \cdots(3)$$

δ_i^l : 敷地*i*において高さ*l*の建物が実現するとき1、実現しないとき0

P_i^l : 敷地*i*において高さ*l*の建物の実現確率

A_i^l : 敷地*i*で高さ*l*の建物が実現する場合の床面積

b^l, b^u : 区全体の床面積の下限値, 上限値

3. 遺伝的アルゴリズムを用いた計算方法

本研究は、制約条件を考慮した遺伝的アルゴリズムを用いている。制約条件を含む問題を、簡便かつ効率的に計算するため、2重構造の遺伝子配列を採用している。計算手順は、床面積制約処理を含む以外は、通常の場合と同様であり、①初期個体の生成、②床面積制約処理、③適応度評価、④淘汰、⑤交叉、⑥突然変異・逆位の手順に従っている。それぞれの内容は以下のとおりである。

(1) 初期個体の生成（2重構造の遺伝子配列）

図-1に示す2重構造の遺伝子配列を有する個体を初期値として設定する。図-1の上段は、敷地番号を表し、下段は、建物階数とする。ただし、建設しない場合は0とする。

S(1)	S(2)	...	S(i)	...	S(n)
L _{S(1)}	L _{S(2)}	...	L _{S(i)}	...	L _{S(n)}

（備考）S(*i*) : 敷地番号, L_{S(*i*)} : 敷地 *s(i)*の建物の階数（ただし、建設しない場合は0）

図-1 2重構造の遺伝子配列

(2) 床面積制約処理

上限制約については、図-2に示すように、2重構造の遺伝子配列の左端から、建物階数（下段の値）をもとに床面積の和を求め、これが上限値を超えるまでは、各建物階数を確定し、それ以降は制約を満たすようにするために、建物階数を0（建設しない）に変更する。また、下限制約については、これを超えた場合は、後述の適応度を $-\infty$ にすることで、その個体を死滅させる。

キーワード 地域・都市計画, 土地利用計画, 空間整備計画

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1 神戸大学工学部建設学科 Phone 078-803-6014

S(1)	S(2)	...	S(i)	S(i+1)	...	S(n)
L _{S(1)}	L _{S(2)}	...	L _{S(i)}	0	...	0

左端からの床面積の和が
制約上限をみたらす

制約上限を超えるため
下段を0とする

図-2 床面積制約処理

(3) 適応度評価

便宜上、式(1)を対数変換したものを適応度として用いる。

$$\ln(L) = \sum_i^n \sum_{l=0}^L \delta_i^l \ln p_i^l \quad \dots (4)$$

(4) 淘汰

ルーレット選択とエリート保存選択を併用する。

(5) 交叉（部分一致交叉）²⁾

交叉は部分一致交叉を用いる。部分一致交叉とは、2重構造の遺伝子配列の交叉方法であり、遺伝子配列の上段のランダム性が確保できるところに特徴がある。図-3は部分一致交叉の例を示したものである。交叉させる親をX,Yとすると、まず、交叉位置（図中の縦線位置）をランダムに設定する。次に、Xの上段（網掛け部分のみ）をYの上段部分と一致（上段のみ一致させるという意味で部分一致）するように遺伝子配列を並び変え、遺伝子X'を生成する(Step1)。このことによって、X'とYの上段が一致し、Yの遺伝子構造（Yの網掛け部分）を、Xと交叉させることが可能となり、これを交叉し新たな個体X*を生成する(Step2)。同様の操作をYにも行うことによってY*が生成できる。

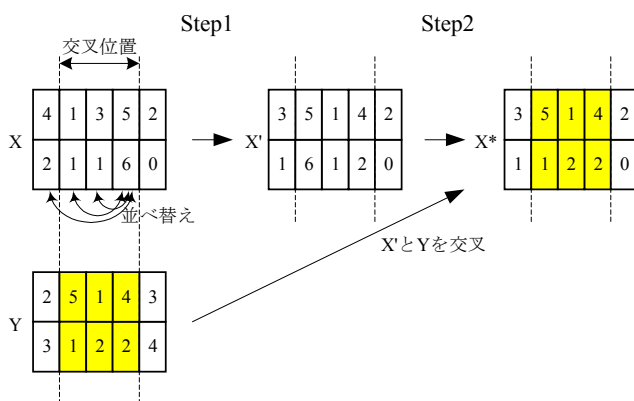


図-3 部分一致交叉の例

(6) 突然変異・逆位

ランダムに個体を選んで、その中の遺伝子をランダムに変更させる突然変異、あるいは2重構造配列の上段の順序を逆にする逆位を行うことで、新たな個体を生成する。

4. 適用例

(1) 前提条件

以下の条件のもとで遺伝的アルゴリズムを適用した。

- ① 敷地数を 20, 建物階数を 10 タイプ(0~9)とした。
- ② 各世代の個体数を 20 個, 世代計算は 10,000 世代まで行った。
- ③ 交叉確率を 0.6, 突然変異確率を 0.1 とした。
- ④ 総床面積の下限 2,000 m², 上限 2,500 m²とした。

(2) 解の収束性

厳密解を事前に総当り法によって求めておき、これと遺伝的アルゴリズムによる計算結果とを比較した。シミュレーションを 10 回行ったところ、解の収束過程は図-4 のようになった。およそ 3,000 世代までは急速に解が改善され、5,000 世代で約 5 割が厳密解に到達し、8,000 世代ではほとんどが厳密解に到達している。このように、式(1)~式(3)の問題は、制約条件を考慮した遺伝的アルゴリズムによって解くことが可能であることがわかる。

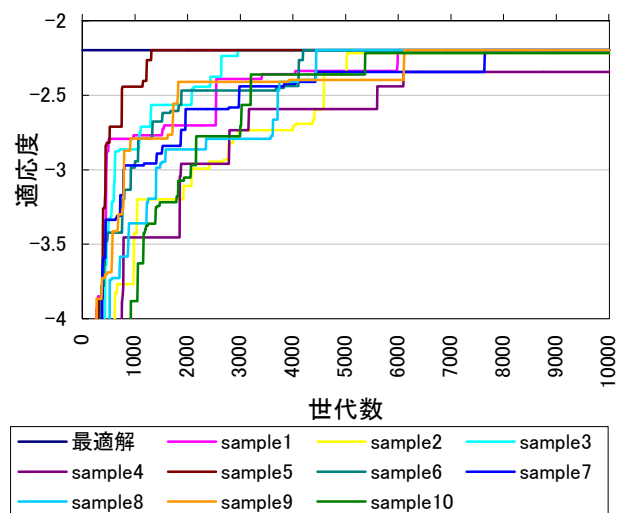


図-4 解の収束過程

5. おわりに

本研究では建物分布予測方法を定式化し、その解法として制約条件を考慮した遺伝的アルゴリズムを適用した。その結果、この方法の有用性が明らかになった。今後は、より大規模な問題への適用を試みる予定である。

【参考文献】

- 1) 寺嶋大輔, 富田安夫ほか: 街区レベルを対象とした敷地別建物予測モデルの試み, 土木学会関西支部年次講演会概要集, 2002
- 2) 坂和正敏, 田中雅博: 遺伝的アルゴリズム, 朝倉書店, pp134-139, 1996