

GAを用いたコンパクトシティにおける 用途に応じた地域配置最適化に関する研究 -ボロノイ図を用いた地域生成による最適化-

○桐野 皓介*¹ 谷 明勲*²
山邊 友一郎*³

キーワード：遺伝的アルゴリズム,都市計画,地域配置,コンパクトシティ

1. はじめに

近年、モータリゼーションによる都市の膨張、低人口密度地域の増加や環境問題における二酸化炭素排出の制限、高齢化社会による交通弱者の増加等の問題が都市で存在し、各国でその対策案が提示されている。例えば、Calthorpeらはアーバンビレッジ¹⁾など高密度で流動的な都市計画を考え、日本では、コンパクトシティという考え方が広がり、各地で計画が行われている。

コンパクトシティの評価については、既に、島岡ら²⁾が土地利用規制と燃料消費量の関係で考察している。しかし、この間接的な指標は、対象地域の住民の性質や年齢層等で基準が変化するという問題もある。

そこで、本研究では、距離や面積等の土地に対する直接的な指標を用い、住民の性質等に左右されない評価を行う。ここでは、コンパクトシティにおける用途に応じた地域配置を遺伝的アルゴリズム(以下、GA)³⁾を用いて最適化し、得られた結果からその有効性の検討を行う。

既報⁴⁾⁵⁾では、地域の生成に関して同心円拡大という方法をとっていたが、この場合、地域同士のバランスが最適化されないという問題があった。本研究では、これを解決するために、ボロノイ図を用いた地域生成方法を導入した新しいシステムを構築し、その有効性の検討を行う。都市計画の既往の研究として、奥ら⁶⁾は拡散ボロノイ図を使用した地域の形成システムを示した。

2. ボロノイ図

ボロノイ図とは、ある平面上に任意の母点を配置したときにその平面がどの母点に近いかによって分割された図のことである。その特徴から領域の境界線は、各々の母点の二等分線の一部となる。ボロノイ図の一例をFig.1に示す。

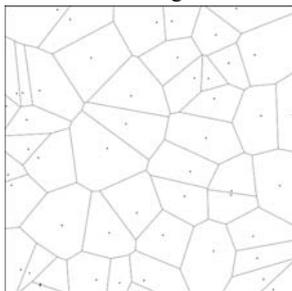


Fig.1 ボロノイ図

3. 地域配置最適化システムの概要

3.1 システムフロー

本システムのフローをFig.2に示す。まず、対象敷地内に、地域を形成するための核を配置する。その核を元にボロノイ図を作成し地域の分割を行う (Fig.1の状態となる)。その後、配置された地域を用途に応じた地域 (以下、機能地域) によって区分し、設定した評価関数をもとに評価を行い、GAにより地域配置の最適化を行う。遺伝的操作を行う遺伝子は、用途に応じた地域が配置される座標と地域の分類とする。

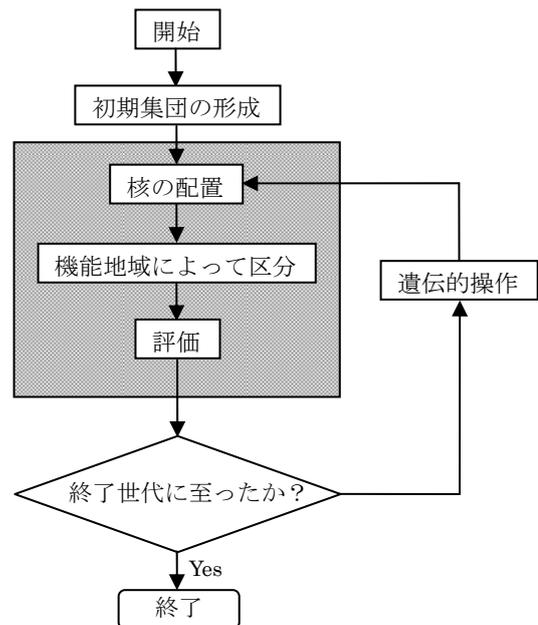


Fig.2 フローチャート

3.2 空間構成

本システムでは、Fig.3に示す1000m×1000mの平坦な敷地を設定する。さらに、敷地内を機能地域の単位と仮定する10m×10mの格子状に区切り、各地域はその格子に合わせて配置する。これより、敷地はX=1~100、Y=1~100の格子空間となる。敷地中央には、他の地域からの住民の進入口として、駅を配置する。

また、地域を構成する要素として、Fig.4に示す用途に応じた6種類の機能地域を用意する。

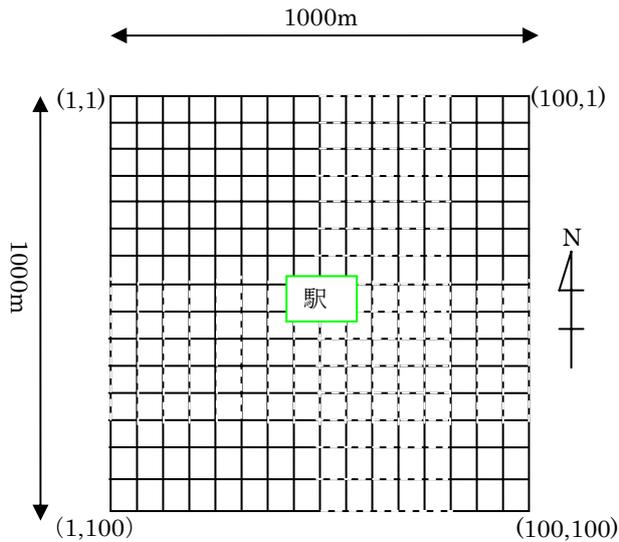


Fig.3 対象敷地

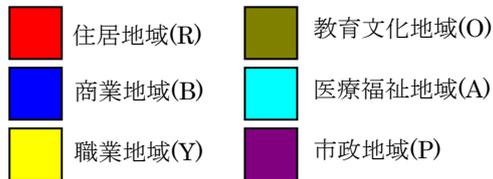


Fig.4 機能地域

3.3 地域の生成方法

Fig.5 に示すように、地域を形成するための核 (Fig.5 中の白い母点) をもとにポロノイ図を作成し、Fig.4 の機能地域によって色分けを行う。本研究では 18 個の核を配置する。

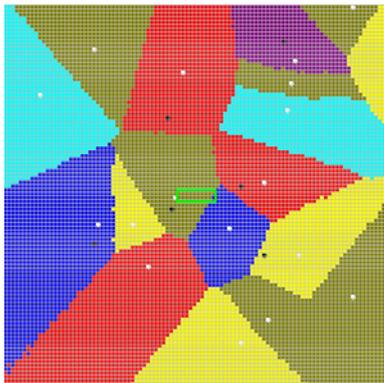


Fig.5 地域の生成

3.4 コーディング

GA で用いる遺伝子型(G-Type)の遺伝子座は、Fig.6 に示すように全部で 54 あり、核の座標の分野 (Table1) と核を含む領域の機能地域の指定 (Table2) の二つの部分で形成する。核の座標に関しては、遺伝子座の 0~35 までの偶数が x 座標を表し、奇数が y 座標を表す。遺伝子座の 36~53 では、各遺伝子座が各核に所属するセルの機能地域を表す。

Table1 遺伝子座 (核の座標)

0	1	2	3	4	...	...	33	34	35
82	36	12	87	65	...	...	46	79	21

Table2 遺伝子座 (機能地域)

36	37	38	39	40	...	...	51	52	53
3	4	1	4	6	...	...	2	5	5

3.5 評価関数

本システムでは、距離評価、面積評価、接続評価、密集度評価の 4 種の評価を用い、詳細の評価とし Ev.1~6 で評価を行う。Ev.1~5 は全て 0~1 の値で変化するように基準化し、1 が最高評価とする。以下にその説明を示す。

3.5.1 距離評価

まず、距離評価では、住居地域とその他地域間距離評価 Ev.1 と商業地域・職業地域とその他の地域間距離評価 Ev.2 を用いる。地域間の距離は、分かれた同種の地域の重心間の距離を用いる。また、Ev.1, Ev.2 では各評価の重み付き相加平均を用いる。ここでは、コンパクトシティの特徴を考慮し、住居地域については教育文化地域(O)と医療福祉地域(A)に重み 6 を、商業地域(B)と職業地域(Y)には重み 3 を与えた。また、商業地域・職業地域では、敷地中心(C)に重み 2 を与えた。式(1),(2)に Ev.1 と Ev.2 の算定式を示す。以下、 $ev_{\circ\circ}$ は、Fig.3 内の括弧内の英文字の地域間の距離評価を示すものとする。

$$Ev.1 = \frac{6(ev_{RO} + ev_{RA}) + 3(ev_{RB} + ev_{RY}) + ev_{RC} + ev_{RP}}{20} \quad (1)$$

$$Ev.2 = \frac{2(ev_{BC} + ev_{YC}) + ev_{BY}}{5} \quad (2)$$

3.5.2 面積評価

面積評価は、面積限界評価 Ev.3、面積バランス評価 Ev.4 の 2 種を用いる。面積評価は各機能地域のグリッド数をそれぞれ G_{\circ} ($\circ=R, O, B, A, Y, P$)、その総和を ΣG とし、 $G_{\circ}/\Sigma G$ で、各機能地域に対する評価値を求める。各評価を相加平均して式(3)、(4)で Ev.3 の評価値を求める。なお、以下で、 $ev_{S\circ}$ はその頭文字の地域面積評価を、 $ev_{S\circ\circ}$ は頭文字の地域間の面積評価を示すものとする。

$$Ev.3 = \frac{ev_{SB} + ev_{SY} + ev_{SO} + ev_{SA} + ev_{SP}}{5} \quad (3)$$

Ev.4 は、住居地域の面積とその他の地域の面積の比率を元に各評価を相加平均して式(4)で評価値を求める。

$$Ev.4 = \frac{evSRB + evSRY + evSROAP}{3} \quad (4)$$

3.5.3 接続評価

住居地域との接続の中でも、教育文化地域や医療福祉地域は、それらに主に関わる年齢層から見て、交通弱者の割合が多いことから、これらの地域が近接していることが重要となる。このため、住居地域にどれだけ教育文化地域や医療福祉地域が隣接しているのかを最適化する評価として、住居地域間接続評価を設けた。Fig.7 に示すように、緑のライン（地域間の境界線）に接している地域のセル数を数え、その値を元に各評価を相加平均した式(5)で評価値を求める。

$$ev.5 = \frac{evcRO + evcRA}{2} \quad (5)$$

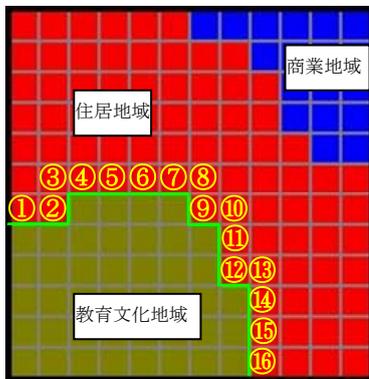


Fig.6 境界線でのグリッド数

3.5.4 密集度評価

既報では、同種の地域がまとまって利便性の高い配置となったが、その分面積の関係が崩れてしまった。本研究ではそれを解決するために、地域のまとまりに少し余裕を持たせる評価を追加した。

Fig.6 は赤円の中心が住居地域の重心を表しており、濃い赤円の範囲内に住居セルが入っていれば EDensityR に 1 を追加する。対して薄い赤円の範囲外に住居セルがあれば、EDensityR が 2 減少する。円の半径は地域ごとに設定する。それぞれの地域ごとに EDensityR, B, Y, A, O, P (式(6)中では ED.R~P と表す) までの 6 つあり、これらを式(6)によって EDensity (式(6)中 ED.) として統合し式(7)によって評価値を求める。

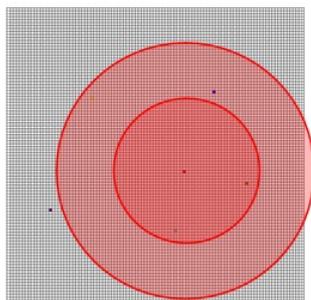


Fig.7 住居地域の密集度

$$ED. = \frac{ED.R}{4000} + \frac{ED.B}{2000} + \frac{ED.Y}{2000} + \frac{ED.A}{600} + \frac{ED.Y}{800} + \frac{ED.P}{600} \quad (6)$$

$$ev.6 = \frac{EDensity}{5} \quad (7)$$

式(7)では、ev.1~5 と値をあわせるために基準化している。

3.5.5 総合評価 (EV)

上記の Ev.1 から Ev.6 までの評価を用いて総合評価 EV を求めるものとする。今回は距離評価に重みをつけた式(8)中に示す総合評価とした。

$$EV = (3ev.1 \times ev.2 + ev.3 + ev.4 + ev.5) \times ev.6 \quad (8)$$

4. 実行結果

本研究では、GAとしてパラメータフリーGA(PfGA)^{[3],[7]}を用い、PfGAの設定は、家族数 10、世代数 300,000 とした。ここでは乱数生成関数の初期値を変えてCases1~2の2種のシミュレーションを行った。

各 Case の実行結果を Figs.8, 9 に、Figs.10, 11 に各 Case の進化曲線を、最適化結果の評価値の一覧を Table3 に示す。

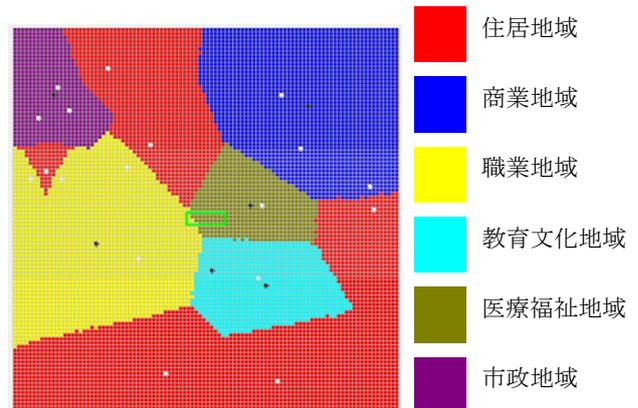


Fig.8 Case1 の実行結果

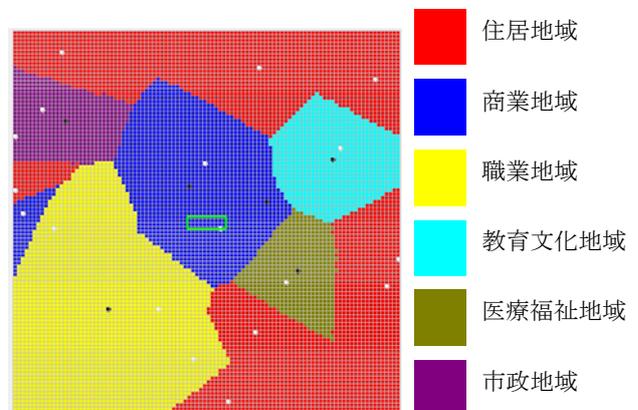


Fig.9 Case2 の実行結果

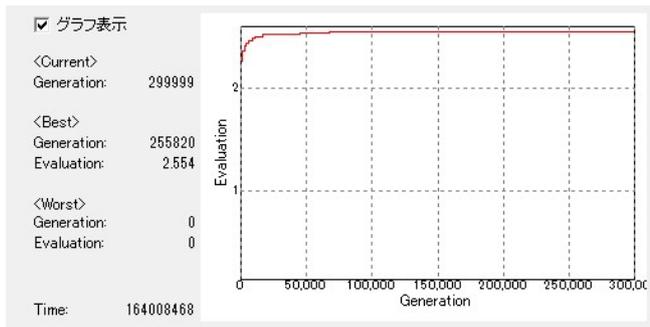


Fig.10 Case1のGAの進化曲線

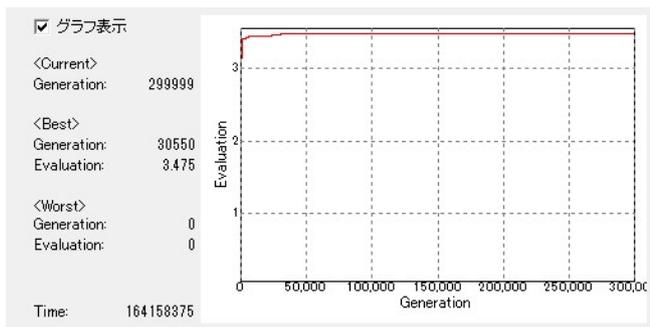


Fig.11 Case2のGAの進化曲線

Table3 評価値

	ev.1	ev.2	ev.3	Ev.4
Case1	0.625	0.600	0.990	0.981
Case2	0.868	0.875	0.739	0.906
	ev.5	ev.6	EV	
Case1	0.704	0.912	2.554	
Case2	0.897	0.904	3.475	

5. 考察及びまとめ

Fig.8を見ると、北西と南東に住居地域が分割され、その間に並ぶように商業・職業・教育文化・医療福祉地域が配置された。商業・職業地域ともに住居地域との境界が二つ存在している。また、教育文化・医療福祉地域が住居地域の中心に位置している。市政地域に関しては住居・職業地域に隣接する結果となった。以上のことから、住居地域から各機能地域まで円滑に人の移動ができる地域配置が得られた。特に、教育文化・医療福祉地域に関しては、交高齢者や子供にとって必要な地域へ短距離で移動できる、本研究で意図した交通弱者に配慮した配置が得られた。

Table3のCase1を見ると、距離評価であるev.1,v.2の評価が0.6台と低い値をとった。原因として商業地域が駅から離れた距離に位置してしまい、商業・駅間距離の評価が著しく低下したことが挙げられる。しかし、先ほど述べたFig.8の結果から、住居地域からの各地域の距離が大きいとはいえなかった。商業地域についても住居地域との距離は小さいという結果となった。以上から距離評価に関しては、0.6台でも概ね満足する配置が得られたと考える。

Fig.10を見ると、一番良い結果が約25万世代と遅い世代での結果であるため世代数を増やすことによって、距離評価も高い値となるような結果が得られる可能性がある。

次に、Fig.9を見ると、住居地域が対象敷地の外側に各機能地域を囲う形で配置され、商業・職業地域については重心が駅に近くなるように配置された。教育文化・医療福祉地域に関しても住居地域を二分する形で配置され、この場合も交通弱者に配慮した配置が得られた。Fig.8と比べると、前者が住居地域から各機能地域へ東西・南北方向に移動するのに対して、後者は各機能地域へ駅の方へ中心に向かうような移動の形となっていることが特徴として挙げられる。この動きは、コンパクトシティにおける郊外へのスプロール現象を抑制し、高密度になるように計画するという目的に良い影響を与える配置結果であり、本研究での目的に沿った結果が得られたと考える。

Table3のCase2をみるとCase1に比べてev.1,v.2の評価が上昇した。これは先ほど述べた、商業・職業地域の重心が駅に近い配置となったことが要因になっていると考えられる。この場合、その他の評価値も高い値になっていることから、本研究で設定した評価全てが高評価となる解が存在する可能性があることがわかった。

すべての実行結果から、本研究で使用したシステムがコンパクトシティにおいて有効な解を見つけることができたと考えられる。今回は重心との距離を評価したが、同じ地域内での距離の格差は必ず出てきてしまう。その場合にも対応できる高さを含めた立体的な地域形成を考えることができるシステムの構築を、これからの課題としたい。

【参考文献】

- [1] Peter Calthorpe: The Ahwahnee Principles, Charter of New Urbanism, 1996
- [2] 島岡明生・谷口守・池田大一郎: 地方都市におけるコンパクトシティ化のための住宅地、整備ガイドライン開発—メニュー方式を用いた都市再生代替案評価の支援—, 都市計画論文集, No.38, pp.775-780, 2003
- [3] 北野宏明: 遺伝的アルゴリズム 4, 産業図書, pp.77-82, 2000.
- [4] 桐野皓介、山邊友一郎、谷明勲: GAを用いたコンパクトシティにおける用途に応じた地域配置最適化に関する研究, 日本建築学会近畿支部研究報告集第53号・計画系, pp.557-560, 2013.6.
- [5] 桐野皓介、谷明勲、山邊友一郎: GAを用いたコンパクトシティにおける用途に応じた地域配置最適化に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 講演番号11039, pp.81-82, 2013.6.
- [6] 奥俊信: 曖昧な境界を有する拡散ポロノイ図, 計算工学講演会論文集, pp.11-14, 2007
- [7] 木津左千夫、澤井秀文、足立進: 可変な局所集団の適応的探索を用いたパラメータフリー遺伝的アルゴリズムとその並列分散処理への拡張、電子情報通信学会論文誌 D-II、Vol.J82-D-II、No.3、pp.512-521、1999.3.

*1 神戸大学大学院 工学研究科 修士課程

*2 神戸大学 教授・工博

*3 神戸大学 准教授・工博