

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

○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、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^[4]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おり、それに準じて各々コンパクトシティに対する考察^[5]も行われている。高橋ら^[6]はコンパクトシティについて、国民の車への依存度の大きさなどから対策としてのコンパクトシティ計画の難しさを指摘しているが、現在は住民の車離れや車によるCO₂排出の削減の動きから、コンパクトシティは、今後より計画されていくものと思われる。その計画において必要とされるものが平井ら^[7]も取り組んでいる、コンパクトシティ計画の方向性を示す仕組みである。そこで本研究では、仕組みの一つとして、平井らの考える、地域総意を実現するための公共機関や住民が使用できるシステムを作る。コンパクトシティに対して評価を行い、可視化できるプログラムを構築し、公共機関や市民が都市計画をイメージできるようにすることを最終目的とする。コンパクトシティの評価について、例えば、島岡ら^[8]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、このソフト面での指標は、対象地域の住民の性質や年齢層等で基準が変化し、何より地域特性を考慮していないという問題もある。そこで、本研究では、距離や面積等の土地に対するハード面での指標を用い、住民の性質等に左右されない、また地域特性を考慮できる評価を行う。今回は、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)^[9]を用いて最適化し、2つの地域生成方法を試行する。1つ目の同心円状拡大方法は下で説明する各地域の中心からの移動距離が同じ距離になるように地域を生成でき、2つ目のボロノイ図方法では、地域の面積の値をより自由に取ることができるという特徴がある。これらの試行より得られた結果からコンパクトシティ計画におけるプログラムで使用する地域生成方法を選定することを目的とする。

2. 空間構成

本システムは基礎の段階のものであるため、まずは駅周辺の範囲を対象敷地とし今回の結果を基に敷地の範囲を実際の都市計画に合わせて変動できるように研究を進

めている。なので、本研究では Fig.1 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(X=1~100、Y=1~100 の格子空間)、各地域はその格子に合わせて配置する。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、実際の都市計画に使用の際に、地域ごとの特性に柔軟に対応できるように、建物の特定を避け建物の大まかな機能の最適な配置をすることによってどういった地域にも対応できるプログラムを作るために新しく作り上げた地域区分(Fig.2 に示す用途に応じた 6 種類の地域(以下、機能地域))を用意する。

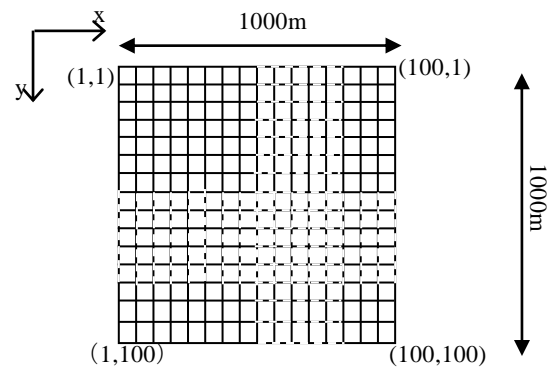


Fig.1 対象敷地

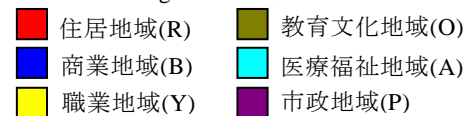


Fig.2 機能地域と色分け

3. 地域生成方法 1 (同心円状拡大)^{[8][9]}

同心円状拡大による地域生成では、Fig.3 上に示すように、最初各機能地域の種となる 1×1 マスの核を生成しその核を中心に同心円状に拡大するものと仮定する。また、拡大中に他の地域と衝突する場合は、Fig.3 下に示すように、衝突していない部分が拡大を続行するものとする。

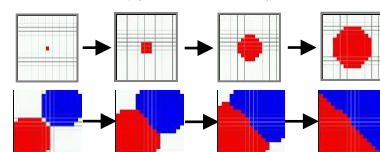


Fig.3 同心円状拡大方法

3.1 システムフロー

同心円状拡大方法のフローを Fig.4 に示す。まず、機能地域毎の核を配置し、同心円状に地域を拡大させ、その後、各地域の重心と地域間の距離を求める。配置された地域を、設定した評価関数で評価し、GA により配置最適化を行う。

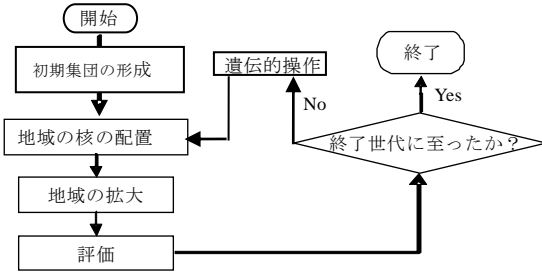


Fig.4 システムフロー

3.2 コーディング

Fig.5 に示すように、GA で用いる遺伝子型(G-Type)の遺伝子座は 18 で、配置の部分(上段)と拡大回数の部分(下段)で構成する。配置では、偶数番号が x 座標を、奇数番号が y 座標を表す。拡大では各遺伝子座の数値の拡大を行う。

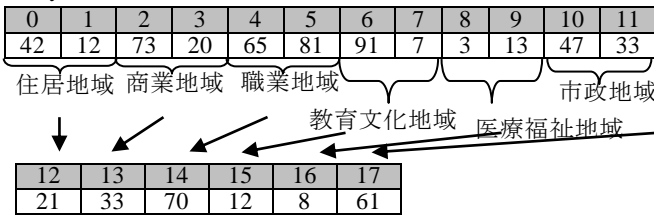


Fig.5 コーディング

3.3 評価関数

同心円拡大方法で用いる評価は、距離評価、面積評価、その他評価に大別される。以下にその概要を示す。本研究では使用者が実際の地域特性に合わせて式の詳細を設定できることが目的である。今回は独自に著者が考えた式を用いる。

3.3.1 距離評価 (Ev.1,2)

距離評価では住居地域と他の地域間距離評価 Ev.1 と商業地域・職業地域と他の地域間距離評価 Ev.2 を用いる。式(1)、(2)に Ev.1 と Ev.2 の算定式を示す。以下、 $ev_{○○}$ とあった場合、Fig.2 中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。Fig.6 に計算方法を示す。増減の境目となる閾値は機能地域を主に利用する者の最適な歩行距離・自転車走行距離を考慮して著者が独自に設定した。例えば $ev_{RO,RA}$ は主に交通弱者であるご老人や子供が利用すると考えられるため 0m~100mの範囲に設定しており、 $ev_{BC} \cdot ev_{YC}$ は利用者の頻度の高さから 0m~各々200m・400mの範囲を高評価になるように設定している。また、住居地域から各地域を利用し、また住居地域に戻る住民の動きがあることを前提を考えているため距離評価に関する相互関係は同じと仮定している。

3.3.2 面積評価 (Ev.3,4,5)

本システムでは各機能領域が衝突せず設定した回数分拡

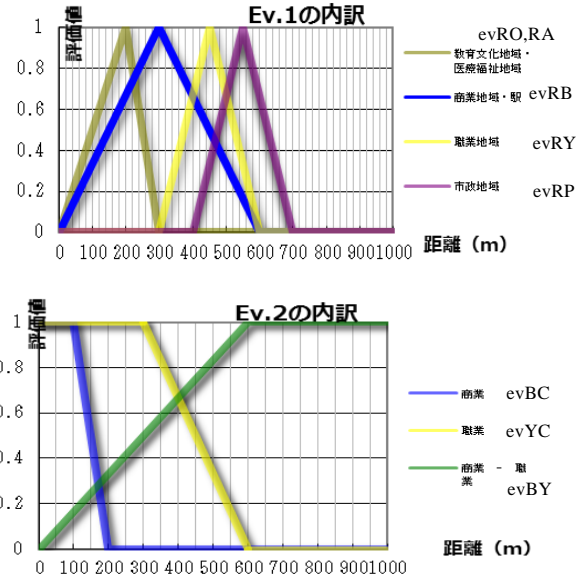


Fig.6 計算方法

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

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

大を行い面積が増え続けるのを防ぐために全ての機能地域が対象地域の範囲で収まるように条件を設ける。総合面積評価 Ev.3、面積限界評価 Ev.4、面積バランス評価 Ev.5 の 3 種を用いる。面積評価は各機能地域のセル数を各々 G1~G6 とし、式(3)、(4)で Ev.3 の評価値を求める。なお、以下で、 $ev_{S○}$ は○の文字の地域面積評価を、 $ev_{S○△}$ は○と△の文字の地域間の面積評価を示すものとする。高評価となる敷地は今回の対象敷地に対して最も効率的に機能地域が機能を果たすと考えられる面積のバランスを独自に設定した。現象に関しては、各機能地域が設定した閾値よりも大きくなれば主要地域である住居・商業・職業地域の面積を圧迫するため、最低評価である 0 と設定した。

a) $0 \leq \sum G_i \leq 10000$ の場合

$$Ev.3 = \frac{\sum G}{10000} \quad (3)$$

Ev.4 は、各機能地域が必要以上の拡大を防ぎ、機能地域同士のバランスを図る評価で、式(4)で評価値を求める。Fig.7 に計算方法を示す。

Ev.5 は、住居地域の面積とその他の機能地域の面積の比率を元にして、式(5)で評価値を求める。以下で、 $ev_{S○○}$ はその二つが表す機能地域の比率を評価するものとする。Fig.8 に計算方法を示す。

3.3.3 住居地域間接続評価 (Ev.6)

住居地域との接続の中で、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と考えられ、これらの地域が近接していることが重要となる。この考えの下、住居地域にどれだけ教育文

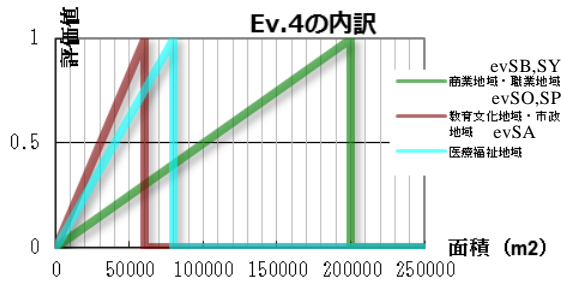


Fig.7 計算方法

$$Ev.4 = \frac{evSB + evSY + evSO + evSA + evSP}{5} \quad (4)$$

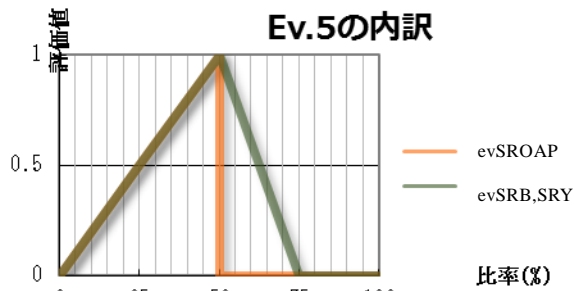


Fig.8 計算方法

$$Ev.5 = \frac{evSRB + evSRY + evSROAP}{3} \quad (5)$$

化地域や医療福祉地域が隣接しているのかを評価する指標として、住居地域間接続評価を設けた。Fig.10 に示すように、緑のライン(地域間の境界線)に接している教育文化・医療福祉地域のセル数を数え、その値より式(6)で評価値を求める。Fig.10 内の地域は Fig.2 の色分けに準ずる。Fig.9 に計算方法を示す。

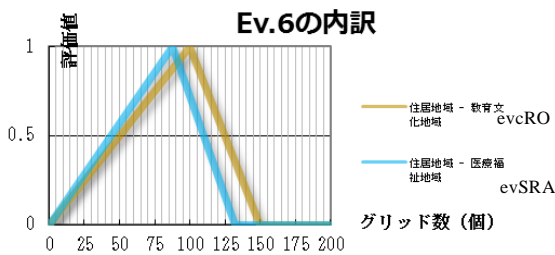


Fig.9 計算方法

$$Ev.6 = \frac{evcRO + evcRA}{2} \quad (6)$$

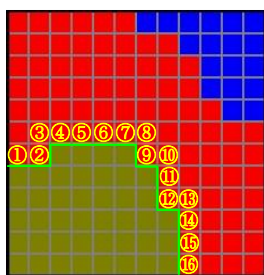


Fig.10 境界線でのグリッド数

3.3.4 住み分け評価 (Ev.7)

住居地域と商業地域と職業地域が混在しないよう配置するために、住居地域の区間、商業地域の区間、職業地域の区間を、Fig.11 に示す三区域に振り分け、各機能地域の重心が区間内に収まれば評価値1を与え、そのほかの場合は全て0の値を与える。

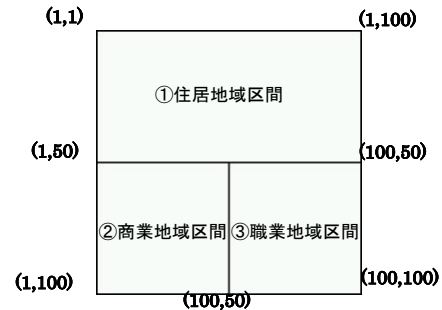


Fig.11 3領域の配置位置の仮定

3.4 総合評価 (EV)

上記の Ev.1 から Ev.7 までの評価に、それぞれに重み係数を与えて総合評価 EV を求めるものとする。重みや式は実際の都市計画に際して地域特性に合わせて使用者が設定できるようにする。ここでは、距離や面積を重視する選択肢を増やすために、以下の3種の EV を著者が独自に設定した。今回は、A は二段階、B,C は三段階に優先度を設けるために重みを使用した。

Case A : 距離のみに重点を置き面積は総数のみを考える場合

$$EV.A = \frac{2(Ev.1 + Ev.2 + Ev.3) + Ev.4 + Ev.5 + Ev.6 + Ev.7}{10} \quad (7)$$

Case B : 距離に加えて、各地域の面積も重視する場合

$$EV.B = \frac{3(Ev.1 + Ev.2) + 2(Ev.3 + Ev.4) + Ev.5 + Ev.6 + Ev.7}{13} \quad (8)$$

Case C : 距離、各地域の面積に加えて地域同士のバランス関係も重視する場合

$$EV.C = \frac{3(Ev.1 + Ev.2 + Ev.3) + 2(Ev.4 + Ev.5 + Ev.6) + Ev.7}{16} \quad (9)$$

3.5 実行結果

本研究では、Table1 に示す評価関数の設定でシミュレーションを行った。また、本研究では、GA としてパラメータフリーGA(PfGA)^[11]を用い、PfGA の設定は、家族数 10、世代数 10,000 とした。Fig.12、Table 1 に Cases A, B, C の実行結果と評価値の一覧を示す。主要地域である住居・商業・職業地域については面積の大きさを比較しやすくするためにグラデーションを設けた。

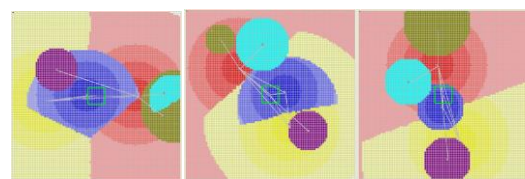


Fig.12 実行結果 (左から Case A, B, C)

Table1 評価値一覧

	Ev.1	Ev.2	Ev.3	Ev.4
Case A	0.831	0.882	0.999	0.617
Case B	0.965	0.871	1.000	0.583
Case C	0.928	0.875	1.000	0.326
	Ev.5	Ev.6	Ev.7	EV
Case A	0.678	0.910	1.000	0.86406
Case B	0.772	0.853	1.000	0.87037
Case C	0.752	0.945	1.000	0.85755

3. 6 考察

Fig.12 より、全ての Case で商業地域は駅周辺に配置され、それを覆う形で職業地域と住居地域が敷地を二分し、教育文化地域、医療福祉地域が住居地域側に、市政地域が職業地域側に配置された。これより、敷地内の住民も、また駅からの来訪者に対しても、少量の移動で商業地域を利用でき、長距離の移動が苦手な子供や、高齢者が学校や病院などに短距離で移動でき、交通弱者に配慮した配置が得られた。また、Table 2 より、各地域の面積評価である Ev.4, 5 が Case 毎に大きく異なり、他の評価に比べて低い評価となり、Ev.1, 2, 3 の評価は Case 毎の差は小さく、全て高評価となった。

以上より、距離評価(Ev.1, Ev.2)では、高い評価値が得られ、距離評価に関しては GA による最適化は有効に機能したと考えられる。しかし、面積評価に関しては、Ev.4, Ev.5 が高い評価値とはならず、各地域同士のバランスも設定とは異なった。Ev.4, Ev.5 が高い評価値になるための課題として、同心円状の拡大では各地域との面積についての最適化がうまく行かないことが考えられる。

4. 地域生成方法 2 (ボロノイ図)

地域生成方法 2 では、地域生成法 1 の問題点を踏まえ、ボロノイ図を用いて地域生成⁶⁾を行う。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.13 に示す。



Fig.13 ボロノイ図

4. 1 地域の生成方法

地域を形成するための核(Fig.13 中の黒い母点)をもとにボロノイ図を作成し、Fig.1 の機能地域によって色分けを行う。なお、本研究では、18 個の核を配置してボロノイ図により領域を分割する。

4. 2 システムフロー

ボロノイ図による地域生成方法のフローを Fig.14 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。その後、

配置された地域に各機能地域を割り当て、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。

4. 3 コーディング

GA で用いる遺伝子型(G-Type)の遺伝子座は、全部で 54 あり、Table 2 に示す 0~35 で核の座標を、Table 3 に示す 36~53 で核を含む領域の機能地域を指定する。核の座標

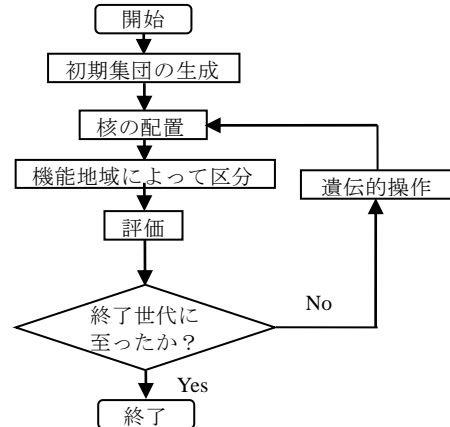


Fig.14 ボロノイ図による地域生成のフロー⁶⁾

に関しては、遺伝子座の 0~35 の偶数番号が x 座標を、奇数番号が 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。

Table2 遺伝子座 (核の座標)

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

Table3 遺伝子座 (機能地域)

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

4. 4 評価関数

ボロノイ図による地域生成法では、距離評価、面積評価、接続評価、密集度評価の 4 種の評価を行う。距離評価、面積評価、接続評価の三つの評価に関しては 3 章と同様とする。ただし、3 章の Ev.6 は本章では Ev.5 とし、新たに Ev.6 として密度評価を追加する。なお、Ev.1~Ev.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。以下に密集度評価(Ev.6)の詳細を示す。

4. 4. 1 密集度評価

Fig.15 は赤円の中心が住居地域の重心に対応し、濃い赤円の範囲内に住居セルがあれば EDensityR に 1 を追加する。また、薄い赤円の範囲外に住居セルがあれば、EDensityR を 2 減少させる。円の半径は地域ごとに設定する。機能地域ごとに EDensityR, B, Y, A, O, P(式(10)中では ED.R~P と表す)までの 6 つあり、これらを式(10)で EDensity として統合し式(11)で評価値を求める。

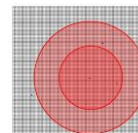


Fig.15 住居地域の密集度

$$EDensity = \frac{ED.R}{4000} + \frac{ED.B}{2000} + \frac{ED.Y}{2000} + \frac{ED.A}{600} + \frac{ED.Y}{800} + \frac{ED.P}{600} \quad (10)$$

$$Ev.6 = \frac{EDensity}{5} \quad (11)$$

なお、式(10)では、Ev.6の値がEv.1~Ev.5と同様に0~1の値となるように基準化を行っている。

4. 5 総合評価(EV)

上記のEv.1~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(12)中に示す総合評価とした。

$$EV = (3Ev.1 \times Ev.2 + Ev.3 + Ev.4 + Ev.5) \times Ev.6 \quad (12)$$

4. 6 実行結果

本研究では、GAとしてパラメータフリーGA(PfGA)^{[7], [11]}を用い、PfGAの設定は、家族数10、世代数300,000とした。世代数であるが、同心円状拡大に比べて非常に計算が煩雑化するため試行回数を増やしている。ここでは乱数生成関数の初期値を変えてCasesD,E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.16に、最適化結果の評価値の一覧をTable5に示す。

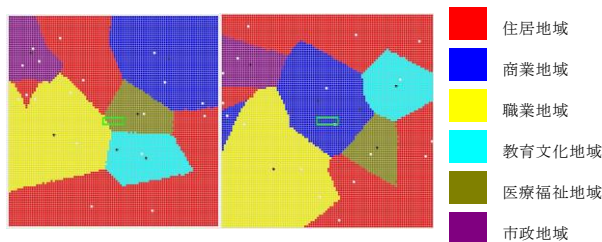


Fig.16 CaseD,Eの実行結果(左D,右E)

Table4 評価値

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

4. 7 考察

Fig.16(Case D)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。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おり、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。

Fig.16(Case E)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。Case Dと比べると、Case Dでは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、Case Eでは各機能地域へ駅の方角へ中心に向かう移動の形となっていることが特徴として挙げられる。Table 4のCase Dを見ると、距離評価であるEv.1, Ev.2の評価が0.6程度の低い値となったが、先ほ

ど述べたCase Dの結果から、住居地域が他の地域と隣接して配慮される結果となり、距離評価に関しては、0.6程度でも概ね満足できる配置が得られたと考える。Table 4でCases D, Eの評価値を比較すると、Case EではCase Dに比べてEv.1, Ev.2の評価が上昇し、他の評価値もCase Dより高い評価値が得られ、乱数の初期値を変えた複数回のシミュレーションの実行により、より高評価となる解が得られる可能性があることがわかった。

5. 全体の考察およびまとめ

地域生成方法に関して、Fig.12とFigs.16を比較してみると、同心円拡大方法では見られた地域の不自然さがボロノイ図方法では見られなかった。また、同心円拡大方法では評価を上げることができなかった面積評価についても、ボロノイ図方法では距離評価を下げることなく面積評価を底上げすることができた。以上の結果からボロノイ図方法をプログラムの地域生成方法として使用する。

プログラムの構築にあたって重要である地域生成方法や可視化プログラムを今回の研究で構築することができた。最終的な目的である、公共機関・市民が使用するためのプログラム製作を実現するために、分かりやすいインターフェイスや評価のバランスを変動できるような新たなシステムを構築する必要がある。また、コンパクトシティ計画では重要となる高さを考えた地域配置についても検討していく必要がある。

【参考文献】

- [1] Peter Calthorpe: The Ahwahnee Principles, Charter of New Urbanism, 1996
- [2] 志村昂俊: 北陸地方におけるコンパクトシティの可能性に関する研究, 学術講演梗概集, F-1, 都市計画, 建築経済・住宅問題 2007, 813-814, 2007-07-31
- [3] 中西 太・徳田 勇貴: 北九州市におけるコンパクトシティのあり方に関する研究, 日本建築学会研究報告, 九州支部, 3, 計画系 (43), 349-352, 2004-03-01
- [4] 高橋 彰・阿部 浩和: 地方都市におけるコンパクトシティ施策現状と問題点に関する研究, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 計画系 (48), 437-440, 2008-05-23
- [5] 平井友介・小林英嗣・瀬戸口剛・小篠隆・松岡佳秀: 地方都市における目標像の共有化と計画推進システムの研究, 日本建築学会北海道支部研究報告集 (74), 285-288, 2001-06-30
- [6] 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
- [7] 北野宏明: 遺伝的アルゴリズム 4, 産業図書, pp.77-82, 2000.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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～ボロノイ図を用いた地域生成による最適化～, 第36回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集
- [11] 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 博士課程前期課程
 *2 神戸大学大学院工学研究科 教授・博(工)
 *3 神戸大学大学院工学研究科 准教授・博(工)

Research on optimization of regional configuration according to uses in compact city using GA

○Kosuke KIRINO*¹
Yuichiro YAMABE*³

Akinori TANI*²

Keywords: genetic algorithm, city planning, local arrangement, compact city

1. Introduction

In recent years, there are problems such as an increase, an environmental problem, an aging society, the sprawl phenomenon and a low population density area. People are coping with those problems in each country. On the other hand, people have considered the compact city. This research aims to develop a system for acquiring the consensus of people of the area in order to solve these problems. A compact city is only evaluated using the indexes in the hardware side such as distance and area. Therefore, it is necessary for a public institution and residents to develop a system which can imagine city planning. In this research, planning of the compact city is evaluated and optimized by Genetic Algorithm (GA). Here, two regional configuration methods are introduced. In this research, effectiveness of these two method in planning of compact cities are discussed and clarified using simulation results.

2. Discussions

2.1 The concentric expansion method

Using the concentric expansion method, three simulations Cases A, B and C are carried out. The business district has been arranged around a station in all the cases. *Residential areas are divided into two site, and cover the business district.* The educational district and the medical welfare district are arranged near the residential area. The municipal-government area are arranged near the residential area.

From these results, the business district can be used only by residents and visitors walking for a while, and some children and elderly people can use a school and a hospital only by short walking. Consequently, distance evaluation is considered to function in GA optimization effectively. However, the evaluation value on area evaluation in optimized results is low.

2.2 The Voronoi diagram method

Using the Voronoi diagram method, two simulations Cases D and E are carried out. In Case D, the residential area are arranged to the northwest and southeast areas. The business district, the occupation area, the educational district and the medical welfare district are arranged side by side between the residential areas. Residents can use each nodal region only by short walking.

In Case E, the residential area are arranged on the periphery to each nodal region as covering those regions. The business district and the occupation area are arranged around the station. Therefore, it is thought that this arrangement consider to vulnerable road users.

2.3 Comparison of two regional configuration methods

In the concentric expansion method, evaluation of the area does not become a good evaluation value, but this evaluation value becomes large without lowering distance evaluation in the Voronoi Diagram method. From these results, the Voronoi diagram method is considered to be suitable as regional configuration method of proposed system.

3. Conclusion

In this research, effectiveness of the regional configuration method is clarified and its visualizing system can be developed. In order to develop a system for residents and public institutions, it is necessary to develop a system with simple interface and the function which enable uses to change weights of evaluations.

*1 Graduate Student, Department of Architecture, Graduate School of Engineering, Kobe University

*2 Professor, Department of Architecture, Graduate School of Engineering, Kobe University, Dr. Eng.

*3 Associate Professor, Department of Architecture, Graduate School of Engineering, Kobe University, Dr. Eng.