

GAによる駅を中心とした都市形態の最適化

○栗本 祐嗣*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 最適化

1.序論

日本社会は成熟期を迎え、新規の都市開発は終わりに近づきつつある。このため、都市の再開発、再生は重要なキーワードとなっている。また、発展途上国には日本など先進国から鉄道や道路などのインフラとセットにして都市が輸出されることが予想されている。そこで、本研究では人々の移動のハブとして機能している駅に注目する。一方、住民参加型のまちづくりでは、インターネットなど、ICT というツールを生かすことも重要²⁾となっている。20世紀の都市計画は、日本全体の成長を前提とした都市化の時代に対応するものとして存在し、トップダウン型のものであったと考えられる。しかし、地方分権と住民参加意識の向上により、ボトムアップ型のまちづくりが盛んに行われるようになってきている。こうした状況の変化は、都市の再開発、再生を躍進させるものであり、今後ますます多様な展開がなされるであろうと考える。既往の研究では住宅地における施設配置の最適化³⁾に関するものや、医療施設配置の最適化⁴⁾に関するものがある。しかし、いずれの研究もマイクロな視点での最適化で都市全体に関するものではない。そこで本研究では住居、業務、消費、緑地の用途を含むマクロな視点での最適化を行った。更に既往の研究⁵⁾に加えて接道に関する評価の追加を行った。

本研究では、住民の意見を生かしたまちづくりを行う為の支援システムとして、遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm : 以下、GA)⁵⁾を用いた都市計画デザインシステムを構築した。本システムでは、GAを用いることで人の考えの及ばない無数の空間プランから最適な空間、つまり人間、企業、自治体、経済、環境などを包括する都市にとって最善の空間、都市の形を、評価項目を与えることによって創出し、3Dによって可視化するものである。本システムの特徴は、①既存の都市ではない、新たな都市の形態を創り出すシステムであること、②住民の意見を評価指標に落とし込むことにより、住民が望む都市の形態を容易に構築できるインターフェースをつくり、1パターンの解ではなく、数パターンの解を提供するシステムであることである。本システムにより、複数解を与えられることにより、住民と住民、住民と自治体、住民と企業など様々な関係者間の議論を活性化させること

により、実際の都市計画に活かすことが期待できる。

2.システム概要

2.1 システムの流れ

本研究で用いるシステムフローを Fig.1 に示す。

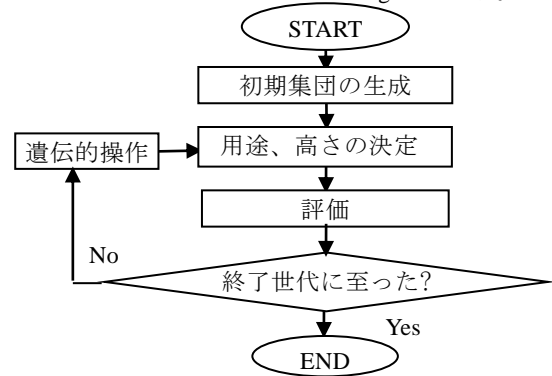


Fig.1 システムのフローチャート

2.2.空間構成

本システムの対象地域は 400m×400m とし、1セルの大きさを高さ 5m、奥行 10m、幅 10m と仮定する。このため、都市空間は 40×40 のグリッド上にセルを配置し表現する。セルの種類、つまり建物の用途は住居、業務、商業、緑地の 4 種類とし、各々白、青、赤、緑で色分けする。緑地は高さが無いものとし、住居、業務、商業の階高は 1 階～10 階とする。Fig.2 に示すように、対象地域に都市空間を形成するにあたり、中央部分には駅、線路、その他の部分に適宜道路をあらかじめ配置し、その他の部分に住居、業務、消費、緑地の 4 用途を配置する。

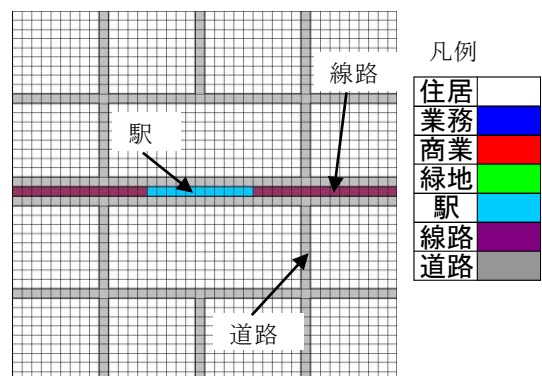


Fig.2 対象地域

2.3.遺伝子情報

本システムでは、住居、業務、商業、緑地のセルが配

置されるセル数(全セルの個数からあらかじめ配置した道路、線路、駅のセル数を除いたセル数)は 1312 となる。本研究では、1 つのセルに用途と高さを設定するため、GA の G-Type は $1312 \times 2 = 2624$ 個の遺伝子座を持つことになる。遺伝子座前半の 1312 個では 0~3 の数字で用途を、後半の 1312 個では 1~10 の数字で階高を決定する。

3. 評価指標

GA による最適化で用いる評価指標を以下に示す。

1) 周辺環境(ev1) : この評価は、それぞれの建物に対する周辺の環境を整えるために同種のセルを集中させることを目的とする。高さ 1 のセルに対し(緑地は高さ 0)、近傍 8 方向のセルを調べ、同種のセルである毎に 1point 加算する。これを式(1)に示すように、住居(Sj)、業務(Sg)、商業(Ss)、緑地(Sr)の 4 種類に関して行い、全ての point を加算したものを GA の評価指標 ev1 とする。

$$ev1 = Sj + Sg + Ss + Sr \quad (1)$$

2) 利便性(ev2) : この評価は、人々の利便性を高めるために、駅からの建物に対するアクセスのしやすさを高めることを目的とする。Fig.3 中の黄色で示した領域(セル数 88 個)に、住居と業務、商業のセルが存在すると 1point 加算する。式(2)に示すように、住居(Rj)、業務(Rg)、商業(Rs)の point の合計を GA の評価指標 ev2 とする。

$$ev2 = Rj + Rg + Rs \quad (2)$$

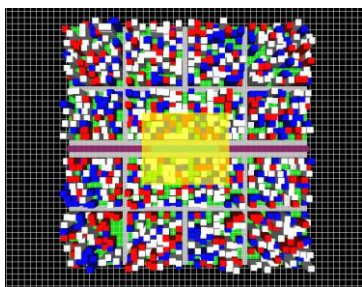


Fig.3 利便性適応範囲

3) 土地利用効率(ev3) : この評価は、地価に対する土地の利用効率を高めることを目的とする。駅周辺は地価が高いと想定でき、駅周辺の地域の建物の高さが高いほど、また、駅周辺以外の地域の建物の高さが低いほど高く評価するものとする。Fig.4 中の黄色で示した領域(1220 個)の、階数が 4 階以下なら 1point 加算する。また、黄色部分以外で示した領域の階数が 9 以上なら 1point 加算する。黄色の領域内に存在する 4 階以下のセル数を N_k 、領域以外に存在する 9 階以上のセル数を N_m とすると、式(3)に示すように、それらの合計を GA の評価指標 ev3 とする。

$$ev3 = N_k + N_m \quad (3)$$

4) 騒音(ev4) : この評価は、騒音に対する住環境を確保することを目的とする。線路沿いは電車の騒音が大きいが想定できるため、Fig.5 中に示す黄色で示した領域(520 個)に住居が存在しなければ 1point 加算する。領域内に存在する住居以外のセルの個数を N_s とし、式(4)に示す

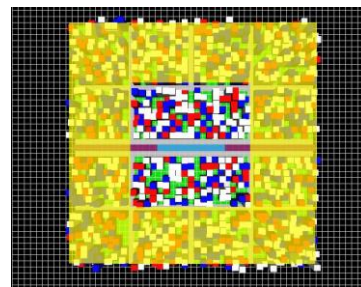


Fig.4 土地利用効率適応範囲

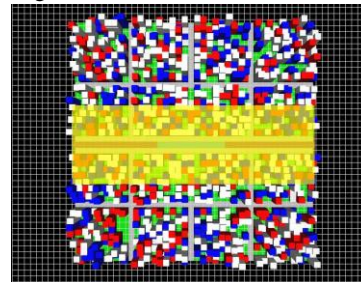


Fig.5 騒音適応範囲

ように、この N_s を GA の評価指標 ev4 とする。

$$ev4 = N_s \quad (4)$$

5) 接道(ev5) : この評価は、住居に対する採光性や通風性を高めることと、緑地は道路に面しているの方がよいと考え、道路に面していることで緑地の利用性を高めることを目的とする。Fig.2 中の線路と平行の 2 つの道路を幹線道路と仮定し、その道路沿いに住居と緑地のセルが存在すると 1point 加算する。設定した領域内に存在する住居の個数を N_j 、緑地の個数を N_r とし、式(5)に示すように、それらの合計を GA の評価指標 ev5 とする。

$$ev5 = N_j + N_r \quad (5)$$

6) バランス(ev6) : この評価は、緑地以外の各用途の合計床面積のバランスを、設定した割合に近づけることを目的とする。ここでは、各用途の割合を住居 : 業務 : 商業 = 2 : 1 : 1 と仮定する。水平方向、高さ方向共に住居、業務、商業のセルの個数を数え、Fig.6 に示す評価関数を用いて各用途に対する評価値を住居 ev_j 、業務 ev_g 、商業 ev_s として求める。Fig.6 中、 N_{jp} 、 N_{gp} 、 N_{sp} は各々住居、業務、商業のセル数を表す。式(6)に示すように、各用途の評価値 ev_j 、 ev_g 、 ev_s の積を GA の評価指標 ev6 とする。

$$ev6 = ev_j \times ev_g \times ev_s \quad (6)$$

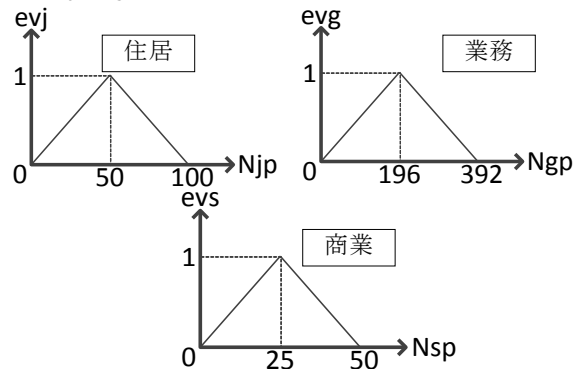


Fig.6 バランス評価で用いる評価関数

7)緑地指数(ev7)：この評価は、バランスの評価指標では設定していない緑地の割合を設定した割合に近づけることを目的とする。ここでは、駅や道路などを除いた全セル数(1312個)の平面に対する緑地の割合の目標を15%と設定する。これより、セル数が1312個の15%の196個が緑地セルとなり、Fig.7に示す評価関数を用いて、その評価値evrを求める。なお、Fig.7中、Nrは緑地の個数である。式(7)に示すように、evrをGAの評価指標ev7とする。

$$ev7=evr \quad (7)$$

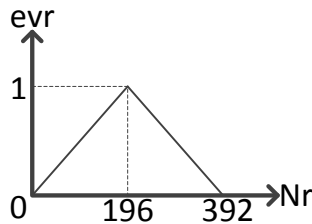


Fig.7 緑地指数評価で用いる評価関数

4.シミュレーション

4.1.概要

本研究では全部で9パターンのシミュレーションを行った。総合評価値EVは式(8)で算出する。なお、式(8)中の f_i は評価指標*i*に対する重みを表している。Cases1~7では、ev1~ev7の各評価指標を単独で実行し、Case8では、各評価指標の相加平均($f_i=1$)でEVを求めた。また、Case9では各評価指標の重み付き相加平均で実行した。Case9の重みは、Table1に示すように1~3の3段階に設定した。ここでは、Cases1~7で算出された各評価指標の最大値と、Case8の相加平均の場合の各評価指標の値を比較し、その差が大きいものに対しては最大の重み3を、差が小さいものに対してはそれぞれ2か1の重みを与えた。また、 Ev_i はev1~ev7の評価値をCases1~7で各評価指標を単独で実行した結果から、各々100前後の値となるように基準化を行った。Table2に、Cases1~9で用いたPfGA⁷⁾の初期設定(世代数、家族数、乱数)を示す。

$$EV = \left(\sum_{i=1}^7 (Ev_i \times f_i) \right) / \left(\sum_{i=1}^7 f_i \right) \quad (8)$$

Table1 重み付き相加平均の係数

周辺環境	利便性	土地利用効率	騒音性	接道	バランス	緑地指数
3	2	3	1	1	2	2

Table2 PfGAのパラメータ設定

	世代数	家族数	乱数
Case1	200000	10	1
Case2	1000	10	1
Case3	200000	10	1
Case4	10000	10	1
Case5	5000	10	1
Case6	5000	10	1
Case7	10000	10	1
Case8	300000	10	1
Case9	300000	10	1

4.2.実行結果

Figs.8~16、Tables 3~11にCases1~9の実行結果と評価値の一覧を示す。

Table3 Case1 周辺環境 評価値一覧

ev1	ev2	ev3	ev4	ev5	ev6	ev7	EV
8138	80	720	417	61	0.257	0.633	8138

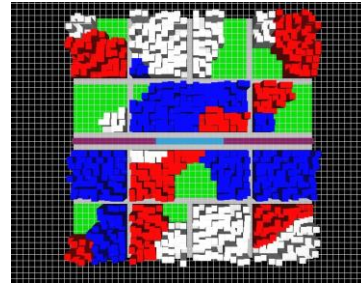


Fig.8 Case1 周辺環境 実行結果

Table4 Case2 利便性 評価値一覧

ev1	ev2	ev3	ev4	ev5	ev6	ev7	EV
2262	88	700	349	76	0.366	0.429	88

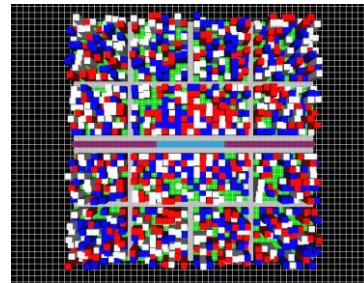


Fig.9 Case2 利便性 実行結果

Table5 Case3 土地利用効率 評価値一覧

ev1	ev2	ev3	ev4	ev5	ev6	ev7	EV
3178	88	1524	361	98	0.253	0	1524

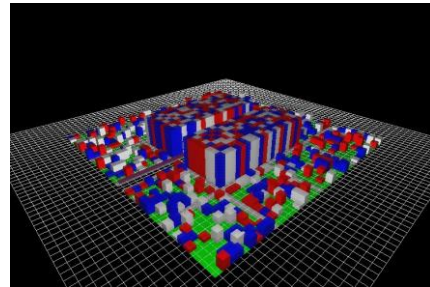


Fig.10 Case3 土地利用効率 実行結果

Table6 Case4 騒音 評価値一覧

ev1	ev2	ev3	ev4	ev5	ev6	ev7	EV
2486	63	692	440	71	0.187	0.276	440

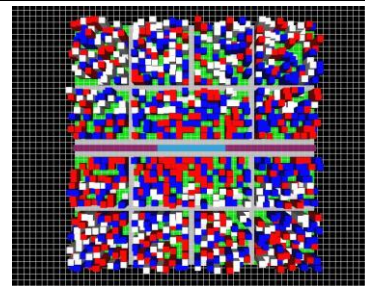


Fig.11 Case4 騒音 実行結果

Table7 Case5 接道 評価値一覧

ev1	ev2	ev3	ev4	ev5	ev6	ev7	EV
2252	69	752	367	150	0.386	0.066	150

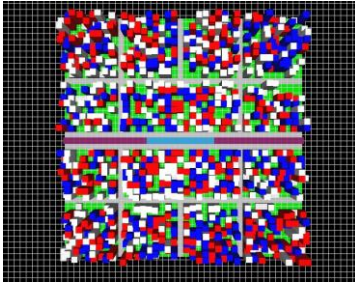


Fig.12 Case5 接道 実行結果

Table8 Case5 バランス 評価値一覧

ev1	ev2	ev3	ev4	ev5	ev6	ev7	EV
2278	69	715	337	85	1	0.332	1

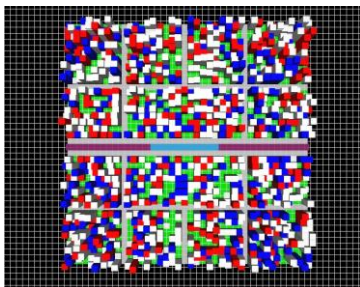


Fig.13 Case6 バランス 実行結果

Table9 Case7 緑地指数 評価値一覧

ev1	ev2	ev3	ev4	ev5	ev6	ev7	EV
2294	72	670	359	62	0.361	1	1

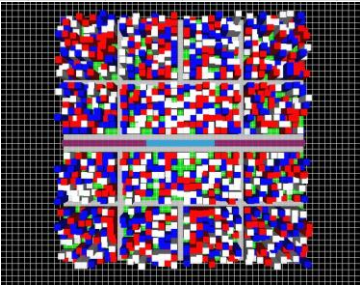


Fig.14 Case7 緑地指数 実行結果

Table10 Case8 相加平均 評価値一覧

ev1	ev2	ev3	ev4	ev5	ev6	ev7	EV
4902	88	1010	432	150	1	1	94.65

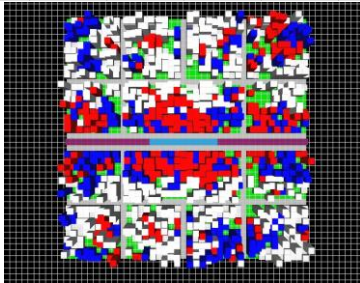


Fig.15 Case8 相加平均 実行結果

Table11 Case9 重み付き相加平均 評価値一覧

ev1	ev2	ev3	ev4	ev5	ev6	ev7	EV
5418	88	1169	402	148	1	1	94.49

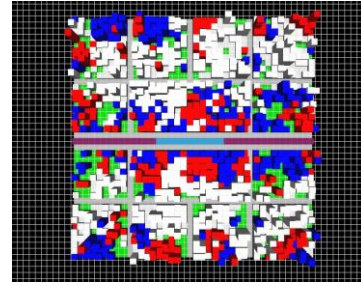


Fig.16 Case9 重み付き相加平均 実行結果

5.考察

Cases1~7 では、ev1~ev7 の各評価指標を単独で用いた最適化を行った。その結果、各々の評価関数に応じた最適化が行われた。Case1 の周辺環境に関する評価(ev1)は、他の評価指標のみを評価して最適化を行うと総じて低くなる傾向があるため、他の評価指標とトレードオフの関係性にあることが分かる。Fig.8 の実行結果の図をその他の実行結果の図と比較すると、顕著に同種のセルが集中し、地域にまとまりが生まれていることが分かる。また、バランス(ev6)や緑地指数(ev7)のような割合を設定する評価指標も、他の評価指標のみを評価して最適化を行った場合には、評価値が低くなる傾向があった。つまり、それぞれの用途の割合を設定する評価指標はその他の評価指標のみで実行した場合、最大値に達しない。一方、バランス(ev6)と緑地指数(ev7)の評価指標は Case8 と Case9 共に重みを設定したにも関わらず、評価値が最大値 1 に達した。これより、評価指標を EV に組み込むと、それぞれの用途の割合を設定する評価指標は最大値に達しやすいことが分かる。Fig.13 や Fig.14 など割合を設定する評価指標の実行結果の図を検討すると、それぞれの用途が均等に配置されていて割合だけが設定したものになっていると考えられる。

Case2 の利便性(ev2)や Case4 の騒音(ev4)に関する評価は、他の評価指標のみを評価して実行しても比較的高い評価値が得られたため、本研究で用いた設定では、他の条件と組み合わせても最適化が容易な評価であることが分かる。Case2 の利便性と Case4 の騒音の共通点は敷地に対してある領域を設定し、その領域内の用途を指定する評価指標であるため、このような領域内の用途を評価するものは比較的容易に評価が上昇することが分かる。しかし、同じように領域を設定した Case5 の接道(ev5)に関しては、他の評価指標のみを評価して実行した際には評価値が最大値の約半分程度にとどまる結果となった。これは設定した領域が線状となっており、かつ範囲が狭いためと考えられる。次に、Case3 の土地利用効率に関する評価指標(ev3)も Case1 の周辺環境(ev1)と同じく、他の評価指標のみで実行した場合には最大値の半分程度しか評価値が上昇しなかった。このため、他の評価指標と比較して高さ方向に関する評価値は上昇しにくいと考え

られる。Fig.10 の土地利用効率の実行結果の図を検証すると、駅周辺だけが低い階高でその他の地域は低い形態が顕著にでてい

Case9 では、Case8 の評価指標に、周辺環境と土地利用効率に 3、利便性とバランスと緑地指数に 2、騒音と接道に 1 の重みを与えた。その結果、周辺環境に最大の重み 3 を与えたことにより、Case8 の結果と比べると、周辺環境の評価値が 4902 から 5418 に増加し、それぞれの地域に纏まりが生まれ、各地域の境界も明確となった。一方、Case9 では、Case5 の接道(ev5)に最少の重み 1 を与えたことにより、Case8 の結果と比べて、接道の評価値が 150 から 148 に減少し、設定した重みに応じた最適化が行われた。総合評価の EV も重みによって増加した評価指標と減少した評価指標があり、Case8 と Case9 を比べて値がほとんど変化しなかった。これより、設定した重みが機能し、重みに応じた最適化が行われたことが分かる。Fig.15 と Fig.16 の Case8 と Case9 の実行結果の図を比較してみると、細かい部分では差は見られるが、広い視点で見ると大きな差は見られなかった。これは重みによる評価値の増減は機能しているが、その増減の差が多大ではないからだと考えられる。つまり、評価値の差が数百のオーダーであるならば実行結果の図には大きな違いは生まれないことが分かった。

6.結論

本システムでは、GA を用いることで無数に存在する都市形態の中から、評価指標に応じた最適な都市形態を得る事ができた。Cases1~7 では与えた評価指標により、形態が端的に異なり、それぞれの差異を発見することができ与える評価指標により正しく最適化が行われていることが確認できた。更に Cases8~9 ではそれらを複合的に組み合わせると、どのような形態になるのかが分かった。単純に相加平均をとることで、それぞれの評価指標の強弱を知ることができ、結果に応じて重み付けをすることができた。そして重みを設定することにより、評価指標にランク付けを行った上で実行し、重みが正確に機能していることも分かった。

住民の意見を評価指標に落とし込み、それを最適化し、形態を提示することで、意思決定を支援するツールを構築できた。本システムは新たな都市のあり様を考えるプロセスを経ていく上で有用なツールであると考えられる。住宅地やビジネス街という単位ではなく、都市を構成する要素の要である、住宅、業務施設、商業施設、緑地という 4 つの用途が複合的に組み合わさった都市の形態を探索した。最適化の結果として得られた解が唯一解ではなく、まちづくりを進めていく上での参考となればよく、また、住民の意見を取り入れた評価を用いることで、住民の望む都市の姿を 3D 化することや色分けし、可視化することで共通のイメージを持つことが出来る。共通の

イメージを明確に持つことで、住民間の議論を活性化し、新たな都市の可能性を探索する。これが繰り返し行われることで、より良いまちづくりが進行していくと考える。

また、本研究では駅というものに着目したことにより、既往の研究⁸⁾とは違い、駅や線路、道路と建物関係についてまで考えられるシステムとなった。更に既往の研究⁹⁾では道路をあらかじめ配置しているにも関わらず、建物と道路の関係性を評価する指標が無かった。しかし、接道の評価指標を追加したことにより、本システムで配置されている要素を全て利用したシミュレーションができた。このようなシステムをまちづくりや再開発の場において本システムを用いることで今までとは違ったプロジェクトの進め方ができるのではないだろうか。

今後の課題は、都市空間内に複合用途の建物が配置できないことである。神戸市灘区の JR 六甲道駅周辺のフィールドワークを行った際、低層部が商業施設で上層部が住居の建物が多数あった。フィールドワークによって、本システムは既存の都市と比較すると複合用途の建物が無い点において大きく異なっていることが分かった。今後、更なるシステムの有用性を高めることを目指し、より現実に即したシステムにする為、複合用途の配置が可能なシステムを構築する予定である。

【参考文献】

- 1) 高橋睦、宇都正哲、井上泰一、松岡未季、水石仁：都市輸出ビジネス(上)、知的資産創造、2010年12月号
- 2) 有馬 隆文、大畑浩介、坂井猛、萩島哲：歴史地区まちづくりワークショップを支援するシステムの開発と応用、九州大学大学院人間環境学研究院紀要、2003
- 3) 川瀬 隼也、山邊 友一郎、谷 明勲：遺伝的アルゴリズムを用いた住宅地施設配置システムに関する研究-住棟の高さを考慮した最適化-、第 32 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集(論文)、79-84、2009
- 4) 木原康之、長澤夏子、渡辺仁史：多目的遺伝的アルゴリズムを用いた医療施設配置計画手法の検討、日本建築学会大会学術講演便概集、1023-1024、2009
- 5) 栗本祐嗣、谷明勲、山邊友一郎：GA による都市形態最適化に関する研究、日本建築学会学術講演便概集、83-84、2013
- 6) 北野宏明：遺伝的アルゴリズム、産業図書、1993
- 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、512-521、1999. 3.
- 8) 佐藤浩之、河村廣、谷明勲：インタラクティブ都市空間構成システム-アンケートによるユーザ趣向の調査と支援ツールとしての可能性の研究-、第 26 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集(論文)、127-132、2003
- 9) 栗本祐嗣、谷明勲、山邊友一郎：GA による都市形態最適化に関する研究、日本建築学会近畿支部研究報告集 53 号・計画系、553-556、2013

*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・博士(工学)

*3 神戸大学大学院工学研究科 准教授・博士(工学)

A Study on optimization system for urban form considering a station location by using GA

○ Yuji KURIMOTO*¹
Yuichiro YAMABE*³

Akinori TANI*²

Keywords : Genetic algorithm, Urban planning, Optimization

Introduction

Japanese society reached maturity, a new large-scale urban development is approaching the end. For this reason, urban redevelopment and regeneration is an important keyword. In addition, it is expected that developing countries would be exported as a set of infrastructure such as roads and railways from developed countries like Japan. Therefore, this study focus on the station that functions as the hub for the movement of people. It do optimization of the form of cities around the station by using genetic algorithm. And by the use of GA it is created by providing evaluation index, the form of the optimal city from the city plan beyond numerous ideas human. It is also an object of construction of a system to support decision-making by adapting diverse opinions to evaluation index in the field of urban development.

System summary

It is expressed by placing the cell on a grid of 40×40 is urban space. Assume 5m high the size of a single cell, depth 10m, width 10m. Type of cell there are four. They are residence, business, commerce and green space. Floor height is a 1 floor to 10 floor. In forming the urban space, pre-placing a line and station in the central portion and pre-placing the appropriate road to the other portions. It places the cell of residence, business, commerce and green space in remaining area.

Simulation

There are seven evaluation index to be used in the optimization by GA. Surrounding environment of an object of the invention is to concentrate the cells of the same type. Convenience to enhance the ease of access from the station. Land use efficiency to increase the efficiency with land prices. Road connection and noise for the purpose of ensuring the living environment. Balance to set the percentage of volume. Green index to set the percentage of green space to the plane. And those running alone these evaluation index, running in combination, and performs simulation of the nine patterns. It was investigated while comparing figures and evaluation value of the result.

Conclusion

As a result it was possible to obtain the optimal urban form innumerable urban form according to the evaluation index by using the GA. It was found that it is the form that is intended by the evaluation index which is given, that the weight configured is functioning properly. By using this system, it was possible to explore the form of a new city not tied to the existing city. In addition, by adapting diverse opinions to evaluation index, to present multiple solutions, in the field of city planning, it was possible to create a system to support decision-making. The future issue, is that placing of mixed-use cannot be placed in urban space. It is the plans to create a system capable of placing of mixed-use, that because it aims to improve the usefulness of the system further and that is more realistic

* 1 Graduate School of Eng., Kobe Univ.

* 2 Prof. Graduate of Eng., Kobe Univ., Dr. Eng.

* 3 Assc. Prof. Graduate of Eng., Kobe Univ., Dr. Eng.