

## 防災性を考慮した市街地再開発の最適化

○高橋 俊貴\*<sup>1</sup> 谷 明勲\*<sup>2</sup>  
山邊 友一郎\*<sup>3</sup>

キーワード：遺伝的アルゴリズム 都市地域計画 防災 再開発

### 1. 序

現在、東京都では阪神淡路大震災での教訓を踏まえ、市街地火災の延焼を防止する都市づくりを目的とした都市防災施設基本計画<sup>1)</sup>の考えを継承しつつ、より効果的に防災都市づくりを推進するため、防災都市づくり推進計画<sup>2)</sup>を策定し、2003年度・2010年度に改定を行い、市街地の防災性の向上に取り組んでいる。

このような状況を踏まえ、本研究では、密集市街地での地震による火災への対策を、延焼被害の抑制を目指し、延焼防止と消火栓の配置の2つの観点で考える。延焼防止に関しては、特定整備路線<sup>3)</sup>として選定した道路の拡幅と、それに伴う減歩<sup>4)</sup>による建物の移動、耐火化によって考慮する。その手段として、移動する建物配置と消火栓の配置を最適化するシステムを、遺伝的アルゴリズム(以下GA<sup>5)</sup>)を用いて構築し、防災性を考慮した市街地再開発の最適化を行うものとする。

本研究では、まず、特定整備路線を選択し、選択した道路の拡幅を減歩で行う。次に、減歩により移動した建物の配置と消火栓の配置によって評価することで、延焼被害に対する市街地の防災性能の向上を目的とした市街地再開発支援システムの構築を目標とし、市街地再開発を行う際の1つのツールとなることを目指す。

### 2. システム概要

#### 2.1 システムフロー

本研究で用いるシステムフローをFig.1に示す。

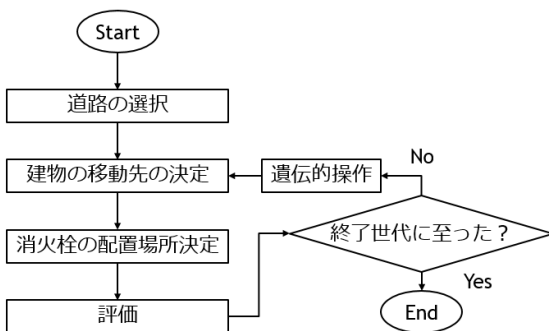


Fig.1 システムのフローチャート

#### 2.2 空間構成

本研究では、実在する密集市街地をモデルとした再開

発提案システムの構築を行う。ここでは、モデルとする市街地として、大阪府豊中市の阪急岡町駅東側の500m四方の対象地域を設定した。また、対象地域を5m×5mのグリッドを構成単位として、100×100グリッドで表した対象地域の3次元モデルをFig.2に示す。

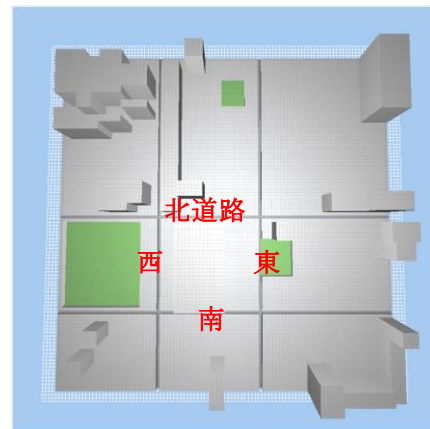


Fig.2 対象地域

Fig.2内の赤字は各道路の名称に対応しており、それぞれ灰色のセルで北道路、南道路、東道路、西道路としている。また、モデル対象地域には、建物セル(白)、避難施設セル(黄緑)が存在する。本システムでは、選択した道路の拡幅によって減歩が発生し、減歩対象場所の建物セルを対象地域内の任意の場所へ移動させて建築量を維持し、それに応じた消火栓の配置まで行うシステムとなっている。本システムでは、減歩対象建物の移動場所と消火栓の配置に関して、GAを用いた最適化を行う。

#### 2.3 移動建物配置方法

本システムでは、減歩によって減少する建築量を敷地内建物の高層化によって維持し、また耐火化したと考える。本項では、その過程で移動する建物の配置方法について説明する。なお、建築量の維持は敷地内のセル数の維持によって満足させるものとする。

本研究では、移動する建物のセル(赤セル)の数を、移動建物数と呼ぶものとする。

今、総移動建物数を $n$ とすると、移動建物の配置情報となる $x, y$ 座標を指定するため、GAで設定する遺伝子型の遺伝子座の数は合計 $2n$ 個となる。例としてFig.3に建物 $i$ も修正のコーディングを示す。

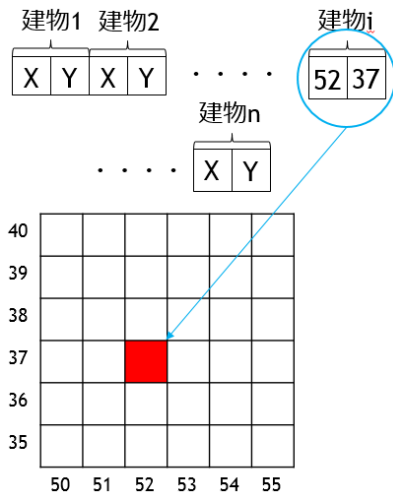


Fig.3 遺伝子型の設定例(移動する建物)

### 2.4 消火栓配置方法

本システムでは、地域内の減歩による建物再配置に加えて、消火栓(青セル)の配置についても最適化を行う。本項ではその消火栓の配置方法を説明する。

まず、本研究では 30 個の消火栓を Fig.2 に示す 4 つの道路に配置するものとする。Fig.4 に消火栓  $j$  のコーディングを示す。まず、Fig.4 に示すように消火栓を設置する道路の位置を 1~400 の数字で与える。消火栓の数が 30 なので、消火栓の配置情報となる GA で設定する遺伝子型の遺伝子座は合計 30 個となり、各遺伝子座で示される位置に消火栓を配置する。

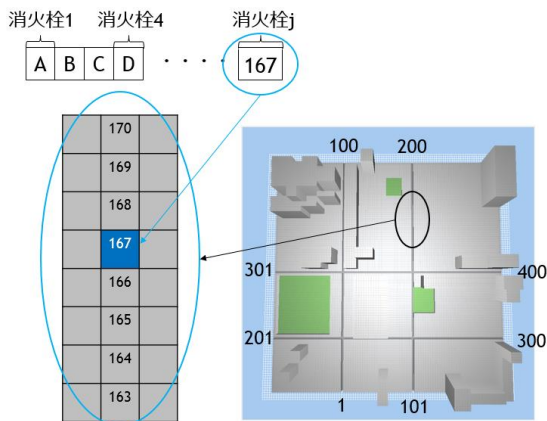


Fig.4 遺伝子型の設定例(消火栓)

## 3 評価指標

本研究では、市街地再開発の最適化を行うために、以下に示す Ev.0~Ev.5 の 6 つの評価指標を設定する。

### 3.1 制約条件 (Ev.0)

本システムでは、建物の移動する位置は遺伝子座の座標の指定により行うため、結果として道路上に建物が移動する可能性がある。このため、道路上に移動した建物数を  $T$ 、総移動建物数を  $N$  として、制約条件 Ev.0 を式(1)

で求める。

$$Ev.0 = (N - T) / N \quad (1)$$

### 3.2 建物集中 (Ev.1)

本研究では、敷地内での建物の移動先について、移動する建物を集中させ、建物群としての再開発を行うようにするために、移動した建物が散在した場合より、集中している場合を高く評価するものとする。ここでは、移動した建物セルに対し、近傍 8 方向に移動した建物セルがある毎に 1 点を加算する。この点数の総和(総得点)と総移動建物数  $N$  を用いて、建物集中評価 Ev.1 を式(2)で求める。

$$Ev.1 = (\text{総得点} / 8) / N \quad (2)$$

### 3.3 特定整備路線近傍 (Ev.2)

地震による火災の被害を防ぐ上で重要なことは、延焼被害の抑制である。このため、本研究では任意の道路を特定整備路線として拡幅させる。この評価では、道路拡幅の影響で減歩が発生し、移動した建物が路線近傍で延焼遮断帯<sup>9)</sup>として機能することを評価する。各建物に、建物から特定整備路線までの距離に応じた評価値を Fig.5 に示す評価関数で与え、その評価値の累計  $X$  と、総移動建物数  $N$  から、式(3)で Ev.2 の評価値を求める。

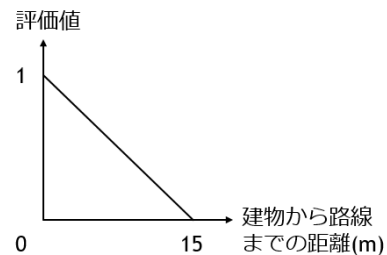


Fig.5 Ev.2 の評価関数

$$Ev.2 = ((15 \times N - X) / (15 \times N)) \quad (3)$$

### 3.4 避難距離 (Ev.3)

この評価では、移動した各建物から最も近い避難施設までの距離を評価する。Fig.2 中の黄緑色のセルを避難施設とし、今回設定した 3 箇所の対象敷地内の避難所の内、各建物から最も近い避難施設までのマンハッタン距離の合計を  $Y$ 、総移動建物数を  $N$  として、Fig.6 に示す評価関数を用いて Ev.3 の評価値を式(4)で求める。

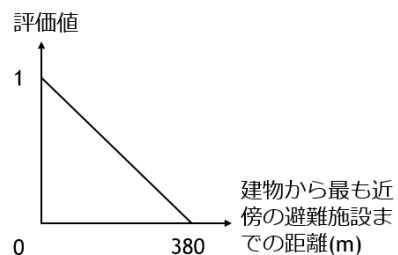


Fig.6 Ev.3 の評価関数

$$Ev.3 = (380 \times N - Y) / (N \times 380) \quad (4)$$

### 3.5 消火栓散在 (Ev.4)

本システムでは、建物の移動と共に、消火栓の配置も最適化し、市街地の防災性能を高めることを考える。この際、既存の消火栓は考慮しないものとする。通常の消火栓の配置距離と、現地調査の結果を考慮し、消火栓同士がマンハッタン距離で 50m 以上離れていることを評価するものとした。50m 以上離れていない消火栓の数を b として式(5)で Ev.4 の評価値を求める。

$$Ev.4 = (30 - b) / 30 \quad (5)$$

### 3.6 消火栓周辺 (Ev.5)

この評価では、消火栓の周辺にある建物セル数を評価する。消火栓の周辺により多くの建物がある場合を効果的な消火栓の配置として高く評価し、消火栓からマンハッタン距離で 50m 以内に存在する建物のセル数を c、その範囲に存在し得る最大の建物数を d(=1100)として式(6)で Ev.5 の評価値を求める。

$$Ev.5 = c / (30 \times d) \quad (6)$$

### 3.7 総合評価

3.1~3.6 節で得られた Ev.0~Ev.5 の評価値の重み付き平均を、各個体(配置計画)の総合評価値 EVAL とし、式(7)で EVAL を求める。式(7)中、a~e は重み係数を表し、GA は式(7)の総合評価 EVAL の最大化問題として実行する。

$$EVAL = Ev.0 \times \frac{(a \times Ev.1 + b \times Ev.2 + c \times Ev.3 + d \times Ev.4 + e \times Ev.5)}{(a + b + c + d + e)} \quad (7)$$

## 4 シミュレーション実行結果及び考察

本研究では減歩する道路の選択、重み付けを変化させることで市街地再開発の比較を行った。本研究で行ったシミュレーションを以下に示す。

### 4.1 Case1 道路選択による比較

Case1 では道路選択による比較を行った。シミュレーションを行った Cases1-1~1-6 の設定を Table1 に示し、得られた最適化結果を Table2、Figs.7~12 に示す。

Table1 Case1-1~Case1-6 の設定

Case	道路選択	総移動建物数	世代数
1-1	北道路両側	196	200,000
1-2	南道路両側	196	200,000
1-3	東道路両側	196	200,000
1-4	西道路両側	196	200,000
1-5	全道路片側	388	300,000
1-6	全道路両側	768	400,000

Table2 最適解の評価値一覧

Case	Ev.1	Ev.2	Ev.3	Ev.4	Ev.5	EVAL
1-1	0.869	0.508	0.747	1.000	0.132	0.651
1-2	0.831	0.564	0.726	1.000	0.132	0.651
1-3	0.824	0.620	0.856	1.000	0.131	0.686
1-4	0.872	0.569	0.809	1.000	0.131	0.676
1-5	0.861	0.830	0.773	1.000	0.145	0.722
1-6	0.875	0.770	0.786	1.000	0.160	0.718

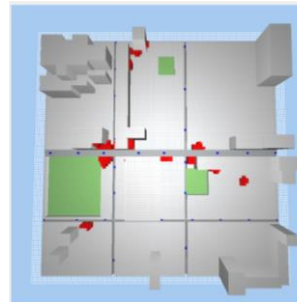


Fig.7 Case1-1 最適化結果

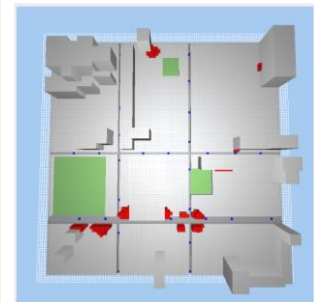


Fig.8 Case1-2 最適化結果

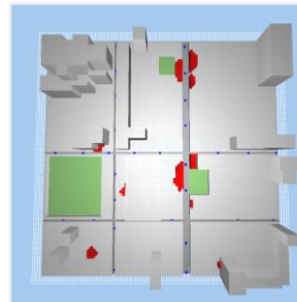


Fig.9 Case1-3 最適化結果

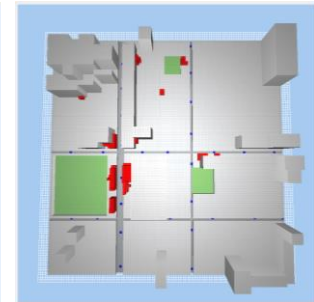


Fig.10 Case1-4 最適化結果

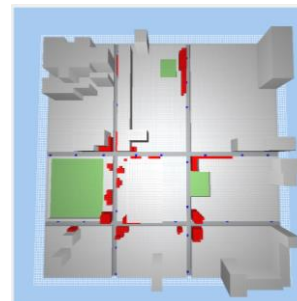


Fig.11 Case1-5 最適化結果

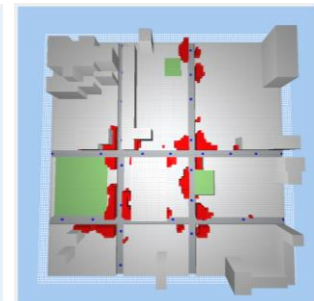


Fig.12 Case1-6 最適化結果

### 4.2 Case1 に対する考察

Figs.7~10 に示す結果より、選択された減歩を行う道路の近傍に、移動した建物の大部分が集合していることがわかる。これより、減歩した道路を特定整備路線として火災による延焼被害を防ぐことにより、都市の防災性能の向上を目的とする本研究の意図が結果に反映されていることが視覚的にも確認できる。また、この場合、総合評価値の算定に重み付けは行っていないので、Table2 に示す総合評価に大きな差は見られなかった。しかし、Figs.9、10 より、東道路の特性として 2 つの避難施設の、西道路は 1 つの避難施設の近くを減歩するため、Table2 に示す避難距離の評価 Ev.3 の値が高くなっている。



また、Fig.11 と Fig.12 を比較すると総移動建物数の違いから、各避難施設周辺の建物数に差はあるが、建物の分布自体には大きな差は見られない。これは評価値に対する重み付けが同じであるからだと考える。

### 4.3 Case2 重み付けを変化させた比較

Case2 では、式(7)に対して重み付けを変化させ、得られた結果の比較を行った。シミュレーションを行った Case2-1~Case2-4 では、道路の選択を全道路両側、総移動建物数 768、世代数 400,000 で同じ設定とした。比較対象として重み付けをしていない Case1-6 を用いる。総合評価に用いる重み付けの一覧を Table3 に、最適化結果を Figs.13~16 に、各評価値の一覧を Table4 に示す。

Table3 総合評価に用いる重み係数の一覧

Case	Ev.1	Ev.2	Ev.3	Ev.4	Ev.5
1-6	1	1	1	1	1
2-1	4	1	1	1	1
2-2	1	4	1	1	1
2-3	1	1	4	1	1
2-4	1	1	1	1	4

Table4 各評価値の結果

Case	Ev.1	Ev.2	Ev.3	Ev.4	Ev.5	EVAL
1-6	0.875	0.770	0.786	1.000	0.160	0.718
2-1	0.950	0.259	0.672	0.933	0.160	0.728
2-2	0.750	0.852	0.758	1.000	0.149	0.758
2-3	0.900	0.659	0.851	1.000	0.154	0.765
2-4	0.853	0.780	0.777	0.933	0.179	0.507

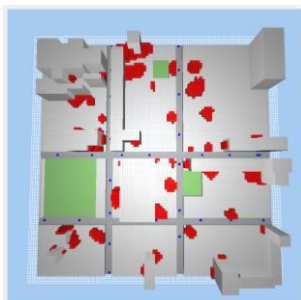


Fig.13 Case2-1 最適化結果

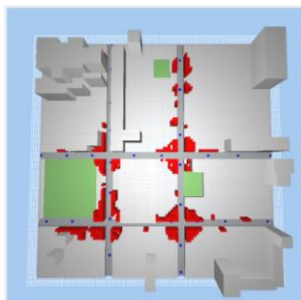


Fig.14 Case2-2 最適化結果

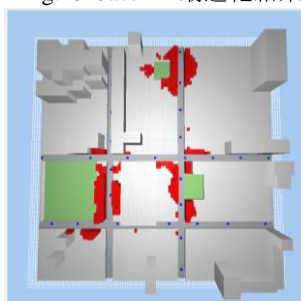


Fig.15 Case2-3 最適化結果

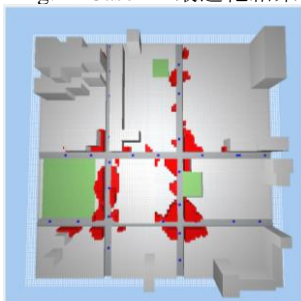


Fig.16 Case2-4 最適化結果

### 4.4 Case2 に対する考察

Table3 で示した重み付けの影響から、Table4 より、各

Case で重み付けをした評価値が、他の Case と比較すると最も高い値を示した。これより、各評価値への重み付けは適切に最適化に反映されていると考える。

Figs.12~16 の結果を Fig.11 の Case1-6 の結果と比較すると、最適化結果の配置からも評価の重み付けの影響が見られることがわかる。Case2-1 は建物集中の評価(Ev.1)に重みを付けた場合で、Fig.13 の結果を他の Case と比較すると道路近傍でない場所に建物が集中し、Ev.1 の評価値は向上したが、Ev.2~4 の評価値が低くなり、防災性の向上を考える上では効果の低い結果であると考え。Case2-2 では、道路近傍の評価(Ev.2)に重みを付けた結果、Fig.14 の結果ではほぼ全ての建物が道路沿いに移動している。Case2-3 では避難距離の評価(Ev.3)に重み付けを行った。Fig.15 の結果を他の Case と比較すると、敷地北部の避難所に建物が集中し、Ev.3 の評価値が高い結果となったと考える。しかし、Fig.16 に示す Case2-4 の結果では、消火栓周辺の建物数を評価する Ev.5 の評価値は、他の Case と比較すると高くなっているが、値としては 0.179 と低い数値となった。これは、Ev.4 で消火栓の散在に対する評価も考慮しているため、いくつかの消火栓が周囲の建物セル数が少ない場所に配置され、結果として評価値が低くなったものと考え。

Table4 より、総合評価値を比較すると、Case2-2 と 2-3 が特に高い値を示しており、本研究での結論としては、移動する建物を特定整備路線近傍、または避難所近傍に移動させることが市街地の防災性能を向上させることに繋がると考えられる。

## 5 結

本研究では、GA を用いた火災防災を考慮した市街地再開発の最適化システムを構築し、その最適化を行った。その結果、道路幅員を確保しつつ火災による延焼被害に対して、効果的な市街地再開発の指標を示すことができ、本システムの有効性を示すことができたと考え。今後は、移動した建物の形態を考慮できるより実用的なシステムの構築を目指す。

### [参考文献]

- 1)東京都：都市防災施設基本計画、1981。
- 2)東京都：防災都市づくり推進計画、1995。
- 3)東京都建設局：特定整備路線の整備について(<http://www.kensetsu.metro.tokyo.jp/douro/mokumitsu/>、2015.10.09 閲覧)。
- 4)(財)区画整理促進機構：小規模区画整理のすすめ、学芸出版社、p.168、2004.12。
- 5)北野宏明編：遺伝的アルゴリズム 4、産業図書、2000.8。
- 6)堀内三郎：新版 建築防火、朝倉書店、pp.224, 225、1994.8。

- \*1 神戸大学大学院工学研究科 大学院生
- \*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)