

# 防災性を考慮した市街地再開発の最適化 -評価指標の統合方法に関する検討-

○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・淡路大震災や東日本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、より効果的な防災都市づくりを推進するための防災都市づくり推進計画<sup>2)</sup>を策定するとともに、2003 年度・2010 年度<sup>3)</sup>にその改定を行い、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、筆者らはこれまで、延焼被害の抑制を目的として、密集市街地での地震による火災への対策を、延焼防止と消火栓の配置の2つの観点で考えた研究<sup>4)</sup>を実施している。この研究では、延焼防止に関しては、特定整備路線<sup>5)</sup>として選定した道路の減歩<sup>6)</sup>による拡幅、および減歩される場所に存在する建物の移動と耐火化によって考慮するものとし、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>8)</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ってきた。

これまでの研究では、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る防災性能を評価することで、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する。さらに、構築したシステムを用いた最適化を行うことにより、本システムの市街地再開発支援システムとしての有効性についても検討を行っている。

既往の研究<sup>4)</sup>では、各評価指標の設定とその効果に関しては、評価指標に重みをつけて比較検証を行ったが、本研究では評価指標の統合についての検討と題し、研究対象を建物の移動に限定し、評価指標に対する重みの組み合わせを比較検証するシミュレーションを行う。さらに、その結果として、防災性を考慮し市街地再開発を行う際の最適な評価指標の統合方法に関する検討を行う。

## 2 システム概要

### 2.1 システムフロー

本システムのフローを Fig.1 に示す。

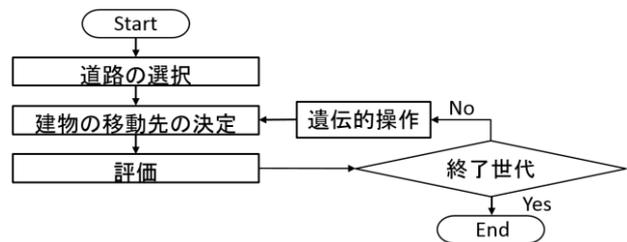


Fig.1 システムのフローチャート

### 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 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)、現状で避難施設、一時避難地になり得る避難施設セル(黄緑、面積の大きいものから神社、公園、保育所)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床面積を維持し、再開発の指標となる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に関して、GA を用いた最適化を行う。

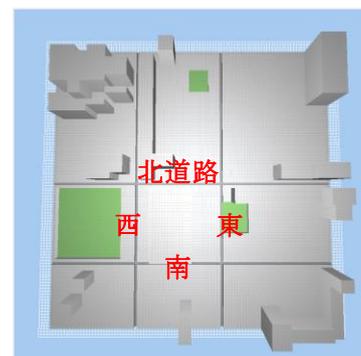


Fig.2 対象地域の 3 次元モデル

### 2.3 移動建物配置方法

本研究では、減歩によって床面積が減少することに対して、敷地内建物の高層化し、その際にその建物を延焼遮断帯<sup>9)</sup>とするために耐火化<sup>10)</sup>して床面積を維持する。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、本システム内での床面積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。

Fig.3 に、移動する建物 X の遺伝子型のコーディング例を示す。なお、本研究では、移動する建物のセル(赤色セル)の数を、移動建物数と呼ぶこととする。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。

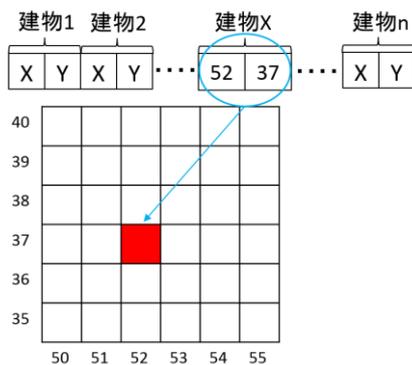


Fig.3 遺伝子型の設定例(移動する建物)

## 3 評価指標

本研究では、GA を用いて防災性を考慮した市街地再開発の最適化を行うため、以下に示す Ev.1~Ev.3 の3つの評価指標を設定する。

### 3.1 建物集中評価 (Ev.1)

本研究では、敷地内での建物の移動先に関して、コストや工期の面から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する場合より、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)と総移動建物総数  $N$  を用いて、建物集中評価 Ev.1 を式(1)で求める。

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

$N$  : 総移動建物総数

### 3.2 延焼遮断配置評価 (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、道路を拡幅するため、減歩によって移動した建物が耐火化され延焼遮断帯として機能することを期待し、道路近傍に移動した場合に高評価とする。具体的には、各建物から特

定整備路線までの距離に応じた評価値を Fig.4 に示す評価関数で与え、その評価値の総和  $X$  と、総移動建物総数  $N$  から、式(2)で Ev.2 の評価値を求める。

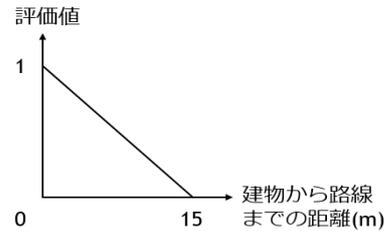


Fig.4 Ev.2 の評価に用いる評価関数

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

$N$  : 総移動建物総数、 $X$  : Fig.6 による評価値の総和

### 3.3 避難距離評価 (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セル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セルとし、今回設定した3箇所の対象敷地内の避難施設セルの内、移動した各建物から最も近い避難施設セル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、Ev.3 の評価値を式(3)で求める。

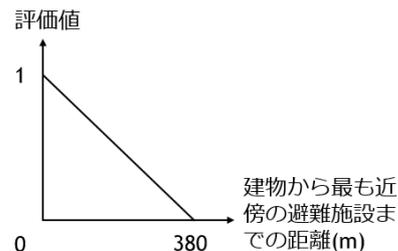


Fig.5 Ev.3 の評価関数

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

$N$  : 総移動建物総数、 $Y$  : 移動した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

### 3.4 総合評価 (EVAL)

3.1~3.3 節で得られた Ev.1~Ev.3 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(4)で総合評価値 EVAL を求める。なお、式(4)中の  $a, b, c$  は重み係数を表し、GA は式(4)の総合評価値 EVAL の最大化問題として実行する。

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

## 4 シミュレーション実行結果及び考察

本研究では減歩により拡幅する道路の選択、重み係数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 評価指標の統合

本研究では、総合評価値の算定式の式(4)に対して重み付けを変化させ、建物の移動に関する評価指標の統合についての比較検討を行った。Table1 に、Cases1~19 とし

て設定した総合評価に用いる重み付けの一覧を、得られた各評価値の一覧を Table2 にそれぞれ示す。なお、全ての Case で、本システムで設定した全ての道路を拡幅し、世代数は 40,000 と設定してシミュレーションを行った。

Table1 Case1~Case19 の設定

Case	a	b	c	Case	a	b	c
1	1	1	1	11	3	3	1
2	2	1	1	12	1	3	3
3	1	2	1	13	3	1	3
4	1	1	2	14	3	2	1
5	2	2	1	15	1	3	2
6	1	2	2	16	2	1	3
7	2	1	2	17	3	1	2
8	3	1	1	18	2	3	1
9	1	3	1	19	1	2	3
10	1	1	3				

Table2 最適解の評価値一覧

Case	Ev.1	Ev.2	Ev.3	EVAL
1	0.841	0.778	0.792	0.804
2	0.838	0.500	0.750	0.732
3	0.781	0.833	0.784	0.808
4	0.846	0.742	0.828	0.811
5	0.830	0.780	0.776	0.799
6	0.795	0.808	0.808	0.805
7	0.863	0.537	0.807	0.775
8	0.875	0.375	0.750	0.750
9	0.754	0.847	0.772	0.813
10	0.862	0.698	0.843	0.818
11	0.832	0.765	0.771	0.794
12	0.754	0.835	0.806	0.811
13	0.874	0.387	0.767	0.759
14	0.837	0.678	0.745	0.769
15	0.759	0.837	0.787	0.807
16	0.874	0.501	0.826	0.788
17	0.841	0.336	0.742	0.724
18	0.789	0.815	0.769	0.799
19	0.804	0.808	0.822	0.814

## 5 考察

### 5.1 Cases1~4 に対する考察

Cases1~4 の最適化結果を Figs.6~9 に示す。なお、Case1 は評価値に重みを与えず、全ての Case の基準とする。

Tables1, 2 と Figs.6~9 に示す結果より、Cases1~4 に対する考察を行う。Cases2~4 は Table1 に示す通りに各評価値に重みを与えた。Case2 では建物集中の評価(Ev.1)に重みを与えたが、最適化結果(Fig.7)の配置は他の Case と比較すると移動した建物が散在する結果となった。また、建物集中の評価値(Ev.1)は高い値となっているが、特に延焼遮断配置の評価値(Ev.2)は低い値となっており総合評価も低くなっている。Case3 は延焼遮断配置の評価(Ev.2)に重みを与えており、Ev.2 の評価は高い値となっている。その結果として最適化結果(Fig.8)の建物配置は拡幅した道路の近傍に数多くの建物が配置され、移動した建物の建物配置は延焼遮断帯としての役割を果たすと考える。

Case4 は避難距離の評価(Ev.3)に重みを与えたが、最適化結果(Fig.9)の評価値を見ると避難距離の評価値(Ev.3)が高くなっており、また、同時に建物集中の評価値(Ev.1)も高くなっている。移動した建物の多くは3箇所の避難施設の近傍に配置されており、その結果として、建物が集中し Ev.1 の評価が向上したと考える。以上の結果より総合評価値(EVAL)を比較すると、Cases1~4 では避難距離の評価に重みを与えた Case4 最も高い値となり、避難距離を重視することが、本研究で市街地再開発地域の防災向上に最も効果的であると考えられる。

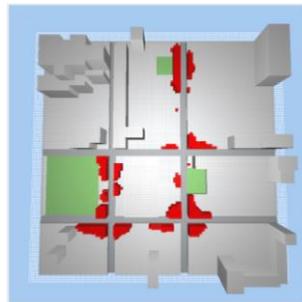


Fig.6 Case1 (1, 1, 1)

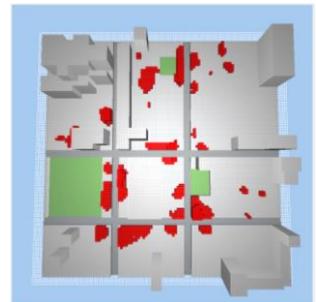


Fig.7 Case2 (2, 1, 1)

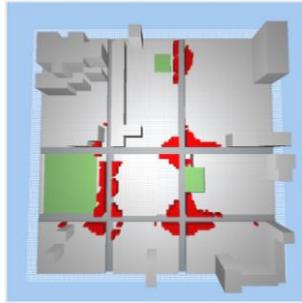


Fig.8 Case3 (1, 2, 1)

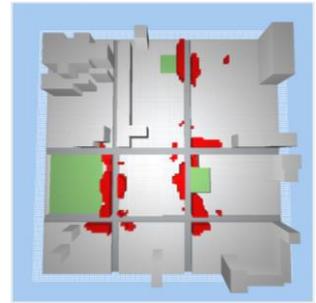


Fig.9 Case4 (1, 1, 2)

### 5.2 Cases5~7 に対する考察

Cases5~7 の最適化結果を Figs.10~12 に示す。

Cases5~7 では本研究で使用している評価指標の中から2つの評価指標に重みを与え、評価指標の統合について考察を行う。Case5 は建物集中と延焼遮断配置の評価(Ev.1, Ev.2)に重みを与えた。最適化結果(Fig.10)を見ると、重みを与えた評価に応じて道路の近傍に建物が集中している。Case6 では延焼遮断配置と避難距離の評価(Ev.2, Ev.3)に重みを与えた。Case5 と比較すると、重みを与えていない建物集中の評価値(Ev.1)は低下したが、延焼遮断配置と避難距離の評価値(Ev.2, Ev.3)は向上し、最適化結果(Fig.11)を見ると避難施設の近傍に多くの建物が移動したことがわかる。Case7 では建物集中と避難距離の評価(Ev.1, Ev.3)に重みを与えた。この場合、延焼遮断配置の評価(Ev.2)に重みを与えていないため、避難施設の近傍ではあるが道路から離れた地点にも建物が移動していることが最適化結果(Fig.12)に見られ、その結果、延焼遮断配置の評価値(Ev.2)が大きく低下し、それに伴い総合評価値(EVAL)も低下している。3つの Case を比較した結果、

Case6 の総合評価値(EVAL)が最も高い値となった。以上より、本研究で2つの評価指標に重みを与える場合、延焼遮断配置(Ev.2)と避難距離(Ev.3)に重みを与えることが最も効果的であると考える。

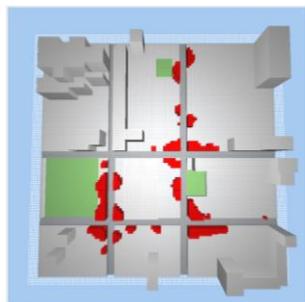


Fig.10 Case5 (2, 2, 1)

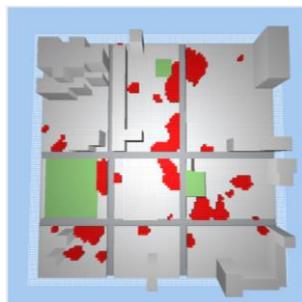


Fig.13 Case8 (3, 1, 1)

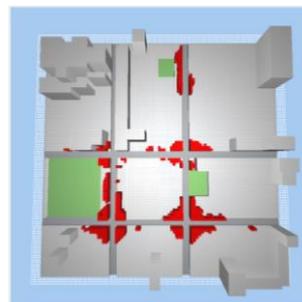


Fig.14 Case9 (1, 3, 1)

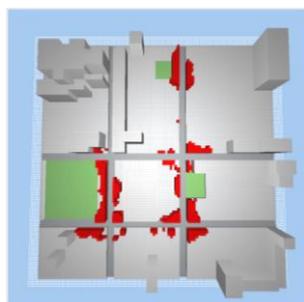


Fig.11 Case6 (1, 2, 2)

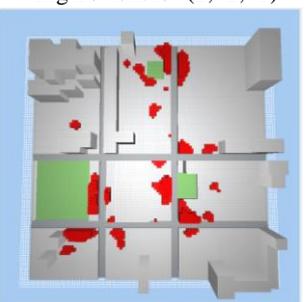


Fig.12 Case7 (2, 1, 2)

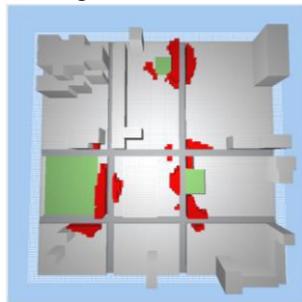


Fig.15 Case10 (1, 1, 3)

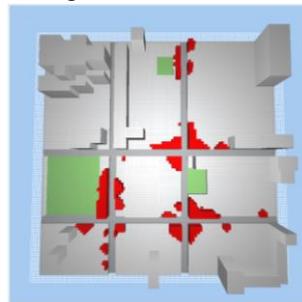


Fig.16 Case11 (3, 3, 1)

### 5.3 Cases8~13 に対する考察

Cases8~13 の最適化結果を Figs.13~18 に示す。

Cases8~13 は Table1 に示す通り Cases2~7 で与えた重みの値をさらに大きくしたものである。Cases2~7 と比較して見られる特徴としては、Cases8, 13 より建物集中の評価(Ev.1)に重みを与え延焼遮断配置の評価(Ev.2)に重みを与えない時、延焼遮断配置の評価値(Ev.2)が大きく低下することがわかる。しかし Cases9, 12 より延焼遮断配置の評価(Ev.2)に重みを与え建物集中の評価(Ev.1)に重みを与えない時は、建物集中の評価値(Ev.1)に大きな低下は見られないことがわかった。また Cases8~13 でも Cases2~7 の場合と同様に、1つの評価指標に重みを与える場合は避難距離の評価(Ev.3)、2つの評価指標に重みを与える場合は延焼遮断配置と避難距離の評価(Ev.2, Ev.3)に重みを与える Case で総合評価値(EVAL)が高い値となった。

Cases8~10 の最適化結果(Figs.13~15)と Cases2~4 の最適化結果(Figs.7~9)を1つずつ比較する。Case8 は建物集中評価(Ev.1)に重みを与えたもので、Case2 と比較すると Ev.1 は 0.875 と高い値となっており、最適化結果の建物配置からもより多くの建物が集中していることがわかる。Case9 は延焼遮断配置評価(Ev.2)に重みを与えたが、Case3 と比較すると Ev.2 の値は 0.847 と高くなったが、最適化結果(Fig.14)には大きな変化は見られなかった。Case10 は避難距離評価(Ev.3)に重みを与えたが、Cases4, 10 の最適化結果(Figs.9, 15)を比較すると、より多くの建物がまわって避難施設の近傍に移動していることがわかる。その結果、避難距離評価 (Ev.3) の値が向上するとともに、建物集中評価(Ev.1)の値も向上しており、総合評価値 (EVAL)の向上の要因となったと考える。

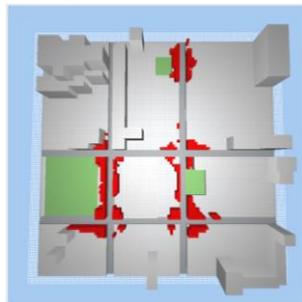


Fig.17 Case12 (1, 3, 3)

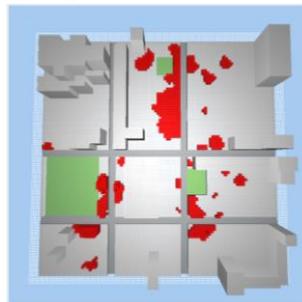


Fig.18 Case13 (3, 1, 3)

### 5.4 Cases14~19 に対する考察

Cases14~19 の最適化結果を Figs.19~24 に示す。Cases 14~19 では Table1 に示す通り 3つの評価値に順序をつけて重みを与えた。

Case14 は Table1 に示す通り建物集中(Ev.1)、延焼遮断配置(Ev.2)、避難距離(Ev.3)の評価の順に重みを与えた。建物集中の評価(Ev.1)に最も大きい重みを与えているが、延焼遮断配置の評価(Ev.2)にも重みを与えているため 5.3 節で示した Cases8~13 程は延焼遮断配置(Ev.2)の評価値は低下しない結果となった。Case15 は延焼遮断配置 (Ev.2)、避難距離(Ev.3)、建物集中(Ev.1)の評価の順に重みを与えた。最適化結果を違う重みの与え方をした Cases6, 9, 12 の最適化結果(Figs.11, 14, 17)と比較すると、評価値 (Ev.2)は重み係数が大きいほど高く、対して他の評価値 (Ev.3)の重み係数が大きいほど Ev.2 の値は低くなっており評価値への重みは適切に機能していることがわかる。Cases16, 17 では建物集中(Ev.1)と避難距離(Ev.3)への重みの与え方を入れ替えたが、両者とも 5.3 節で示した通り延焼遮断配置(Ev.2)の評価値が低い数値となり、特徴としては避難距離評価(Ev.3)に大きく重みを与えた Case 16 は、最適化結果(Fig.21)を見ると避難施設の近傍に多くの建

物が配置され、建物集中評価(Ev.1)に大きく重みを与えた Case17 は最適化結果(Fig.22)を見ると建物が散在する結果となり、全 Case 中総合評価値(EVAL)が最低の結果となった。Case18 は延焼遮断配置(Ev.2)、建物集中(Ev.1)、避難距離(Ev.3)の評価に重みを与えたが、類似した重みを与えた Cases9, 11 の最適化結果(Figs.14, 16)と比較すると、評価値の値に多少の違いは見られるが最適化結果に大きな違いは見られない。Case19 は避難距離(Ev.3)、延焼遮断配置(Ev.2)、建物集中(Ev.1)の評価の順に重みを与えたが、Case10, 12 と比較すると、Case12 の最適化結果(Fig.17)とは大きな違いは見られないが、Case10 の最適化結果(Fig.15)では敷地北部の避難施設近傍に多くの建物が移動しているのに対して、Case19 の最適化結果(Fig.24)にはその傾向が見られない。これは、延焼遮断配置(Ev.2)の評価値は、Case10 の Ev.2 の値が 0.698 であるのに対し、Case19 の延焼遮断配置の Ev.2 の値は 0.808 に向上し、その結果避難施設近傍への建物の移動が減少し道路近傍への建物の移動が増加していることがわかる。

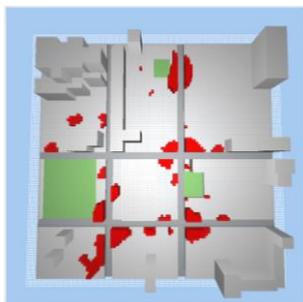


Fig.19 Case14 (3, 2, 1)

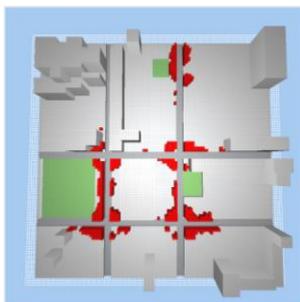


Fig.20 Case15 (1, 3, 2)

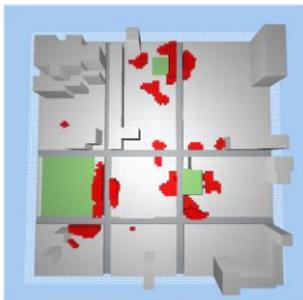


Fig.21 Case16 (2, 1, 3)

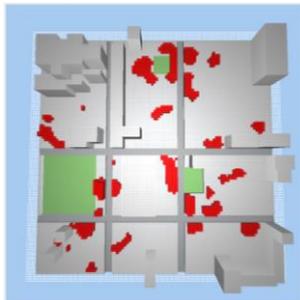


Fig.22 Case17 (3, 1, 2)

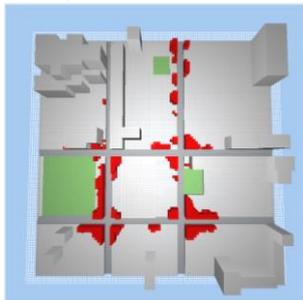


Fig.23 Case18 (2, 3, 1)

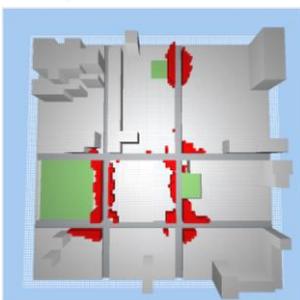


Fig.24 Case19 (1, 2, 3)

## 5.5 全 Case に対する考察

ここでは全ての Case を比較し、評価指標の統合方法に

ついて考察を行う。得られた特徴としては、Cases2, 7, 8, 13, 16, 17 より建物集中評価(Ev.1)に重みを与え、延焼遮断配置評価(Ev.2)に重みを与えない場合、建物集中評価の値(Ev.1)は向上するがそれに伴い延焼遮断配置評価の値(Ev.2)が大きく低下し、結果として総合評価値(EVAL)が低下することがわかった。また Cases4, 10 より、避難距離評価(Ev.3)にのみ重みを与えると避難施設近傍に建物が集中し、結果的に建物集中の評価値(Ev.1)も向上し、総合評価値(EVAL)も向上することがわかった。以上の結果と Table2 の最適解の評価値一覧の総合評価値(EVAL)を比較から、評価値の統合方法の観点から、防災性を考慮した市街地再開発に対して、本研究では建物集中評価(Ev.1)と延焼遮断配置評価(Ev.2)の統合は効果が低く、避難距離評価(Ev.3)に重みを与えることで建物集中評価(Ev.1)の値も向上することから、単一の評価値に重みを与える場合は避難距離評価(Ev.3)に、2つの評価値に重みを与える場合は避難距離評価(Ev.3)、延焼遮断配置評価(Ev.2)の順に重みを大きくすることが望ましいと考える。

## 6 結

本研究では、GA を用いて地震時の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、研究対象を建物の移動に限定して評価指標に対する重みの組み合わせを比較検証するシミュレーションを行った。その結果、本研究の範囲では、評価指標の統合に関して十分に検討でき、延焼防止に関して効果的な評価指標の統合方法を示せたと考える。今後は、敷地内の建物に対して用途を設定し、建物の用途を考慮した再開発の最適化や広域避難場所の有効面積に関する検討を行う予定である。

## [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：防災としづくり推進計画～「燃えない」「壊れない」震災に強い都市の実現を目指して～、2010.1.(<http://www.toshiseibi.metro.tokyo.jp/bosai/70k1s101.pdf>、2016.6.14 閲覧)
- 4)高橋俊貴、谷 明勲、山邊友一郎：防災性を考慮した市街地再開発の最適化、日本建築学会、第 38 回情報システム利用技術シンポジウム論文集、報告、pp.173-176、2015.12.
- 5)高橋俊貴、谷 明勲、山邊友一郎：防災性を考慮した市街地再開発の最適化、日本計算工学会、第 21 回計算工学会、pp.173-176、2016.6.
- 6)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/>、2016.6.14 閲覧).
- 7)(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.
- 8)北野宏明編：遺伝的アルゴリズム 4、産業図書、2000.8.
- 9)堀内三郎：新版 建築防火、朝倉書店、pp.224, 225、1994.8.
- 10)建築基準法：第三章、第五節、第六十一、六十二条(URL: <http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S25/S25HO201.html>、2016.10.5 閲覧)

- \*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)

# Optimization on Redevelopment of Urban Areas Considering Disaster Prevention Abilities

- Study on the integration method of the evaluation indexes -

○Toshiki TAKAHASHI\*<sup>1</sup>      Akinori TANI\*<sup>2</sup>  
Yuichiro YAMABE\*<sup>3</sup>

Keywords: Genetic algorithm, Urban area planning, Disaster prevention abilities, Redevelopment

## Introduction

In this study, as the measures to the earthquake fire in the densely inhabited urban area, the suppression of the expansion of fire damage is considered from the viewpoints of both the fire prevention and the arrangement of fire hydrant. The prevention of fire spreading is taken into account of following methods, i.e.; the widening of the roads which are selected as specific development roads by the reduction of site areas, and the relocation and the fireproof of buildings and/or houses located in the reduction of site areas. In this study, an optimization system of both the movement building and the arrangement of fire hydrant is developed using genetic algorithm (GA), and some optimizations considering disaster prevention abilities are performed under different conditions. This study focus on the movement building to study on the integration of the evaluation index and simulate various cases to compare and inspect them. In this paper, the integration methods on the most suitable evaluation indexes in case of redevelopment in consideration of disaster prevention abilities are discussed and clarified.

## Outline of Proposed System

In this study, the system is developed using the 500m square area near the Hunkyu Okamachi Station in the east side of Toyonaka City, Osaka. This area is expressed by the cell on a grid of  $100 \times 100$ , and the size of a single cell is 5m square cube. Here are assumed three types of the cell such as building, road and evacuation space. Building, road and evacuation space cells are denoted as white, gray and yellow green in this system. In this system, the selected roads are expanded, and buildings adjacent to expanded roads are moved in order to improve disaster prevention abilities of this city. This system uses GA to optimize movement of buildings.

## Simulation

In optimizations using GA, following three evaluation indexes are employed; evaluation on the placement of the movement buildings named 'buildings concentration', evaluation on spread of a fire interception placement, and evaluation on evacuation distance. In this study, weight coefficients to three evaluation indexes are changed, and optimal results are compared regarding the integration methods of them. Nineteen simulations are performed under same following conditions; all designated roads are expanded, and the number of the generation in GA is 400,000.

## Conclusion

In this study, a simulation system that optimize the city area redevelopment in consideration of the fire disaster prevention abilities at the time of the earthquake is developed using GA, and optimizations are performed under the different setting. As a result, the effective integration method on the evaluation indexes is obtained regarding redevelopment in consideration of a decrease damage by the spread of fire and securing the width of specific development roads. Furthermore, it is clarified that the proposed optimization system was effective to improve disaster prevention abilities of the city by obtained optimal results. In order to perform more realistic optimization, it is necessary to consider the usage of buildings in the redevelopment area in optimization system in the future.

---

\*1 Graduate Student, Graduate School of Engineering, Kobe University

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

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