

# 地図情報による災害救助エージェントの活動予測について

## A prediction of rescue agents' behavior with geographic information

鈴木 俊人<sup>1\*</sup> 福田 佑<sup>2</sup> 伊藤 暢浩<sup>3</sup> 岩田 員典<sup>4</sup>  
Toshihito SUZUKI<sup>1</sup> Yu FUKUDA<sup>2</sup> Nobuhiro ITO<sup>3</sup> Kazunori IWATA<sup>4</sup>  
犬塚 信博<sup>2</sup> 和田 幸一<sup>2</sup>  
Nobuhiro INUZUKA<sup>2</sup> Koichi WADA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 名古屋工業大学工学部情報工学科

<sup>1</sup> Department of Information engineering, Nagoya Institute of Technology

<sup>2</sup> 名古屋工業大学院 工学研究科

<sup>2</sup> Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology

<sup>3</sup> 愛知工業大学 経営情報科学部

<sup>3</sup> Faculty of Management and Information Science, Aichi Institute of Technology

<sup>4</sup> 愛知大学 経営学部

<sup>4</sup> Faculty of Business Administration, Aichi University

**Abstract:** In research areas of agents, it is a problem to evaluate the behavior of multi agent systems. Because agents' behavior is influenced with the environment of the agents. The evaluation depends on the environment of agents. So, we need to clear a relation between the environment and agents, in order to evaluate agents' behavior based on situations of the environment. In a previous research, we analyze some relations between an evaluation of agents and features of a map as an environment. And we defined indexes that show features of map. In this research, we predict an evaluation of agents using the defined indexes. Furthermore, we consider accuracy of the prediction using the indexes.

## 1 はじめに

エージェントに関する研究分野では、開発されたエージェントやマルチエージェントシステムを評価する手段や方法を整備することが重要な課題として挙げられている [1],[2] .

また、エージェントの評価は、エージェントの動作する環境に依存している。そのため、エージェントと環境との依存関係を考慮した上でエージェントの評価を行うには、その依存関係を明らかにする必要がある。

これまでの研究において、瀬戸口らは地図上の道路網を解析し数値化することでエージェントの評価と環境との依存関係について考察する研究を行った [3] . 瀬戸口らはエージェントの「移動」という行動に着目し、「移動」と密接な関係にある道路に着目した。さらに、移動するエージェントを持つマルチエージェントシステムにおいて、エージェントの評価と道路の関係を分析した。

瀬戸口らは、環境の中で道路だけでなく建物に着目し、それらの特徴を数値化することで「建物および道路に関する地図の特徴の指標」として定義した [4] . そして、定義した地図の特徴の指標をもちいて災害救助エージェントの評価との依存関係について分析を行った。また分析結果を基に地図の特徴の指標からエージェントの評価を予測すること提案した。また結果をロボカップレイスキューシミュレーションに適用した。その結果、特定のエージェントの評価を概ね予測できたが、その検証は不十分であった。

本研究では、瀬戸口らが定義した「建物および道路に関する地図の特徴の指標」によりロボカップレイスキューシミュレーションをもちいて災害救助エージェントの評価予測を行う。また予測結果の検証実験では、RoboCup2008 競技会での上位 4 チームをもちい、47 地域の地図を利用した。その結果、グラフによる比較において実測値を概ね予測できた。しかし統計学的にはまだ不十分であることがわかった。

\*連絡先：名古屋工業大学工学部情報工学科和田研究室  
〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町  
E-mail:toshi@phaser.elcom.nitech.ac.jp

## 2 マルチエージェントシステム

### 2.1 エージェントの評価方法

エージェントとは、あたえられた目的達成のために自律的に行動する主体であり、社会性・反応性・自発性といった特徴を持つ [1]。また、マルチエージェントシステムとは、複数のエージェント同士が相互作用を通じて、複雑な問題を解決するシステムのことである。

エージェントに関する研究分野では、開発されたエージェントやマルチエージェントシステムの能力を評価する手法を整備することが重要な課題として挙げられている。なぜなら、評価方法が存在しないことが、エージェントに関する理論・実装の発展や実用化の妨げとなっているからである。また、エージェントの評価をあたえる手法を作成しても、その評価はエージェントが活動する環境に依存している。その例を以下に示す。

- ある環境  $E$  で異なる複数のエージェント  $A, B, C$  が動作したとき、 $A, B, C$  のどのエージェントがその環境  $E$  において適切に動作したかを判断することはできない。しかし、その動作結果に対する優劣の関係が、環境  $E$  以外の環境においても成り立つとは限らない。
- エージェント  $X$  が環境  $M$  で、エージェント  $Y$  が環境  $N$  で動作したとき、その動作結果から  $X$  と  $Y$  どちらのエージェントが優れているか比較することは難しい。

よって、エージェントやマルチエージェントシステムの能力の評価を行うためには、環境との依存関係を明らかにしなければならない。そのためには、環境について詳細な分析が必要となる。

### 2.2 RoboCupRescue シミュレーション

本研究では、RoboCupRescue と呼ばれる災害救助シミュレーションをもちいる。RoboCupRescue シミュレーションでは、計算機上で地震による火災、市民の埋没、道路の閉塞などの災害がシミュレートされる。その仮想的災害空間で、救助活動を行うエージェントの防災戦略や有効性を分析、評価することができる。災害前に都市が持つ市民や建物数などから算出される都市価値を消火・救助活動によって維持することがエージェントの目的となる。

ここで、都市価値  $V$  は次の式で算出される。

$$V = \left( P + \frac{S}{Sint} \right) \sqrt{\frac{B}{Bint}} \quad (1)$$

ただし、 $P$  は災害救助活動後に生存しているエージェントの数、 $S$  は災害救助活動後におけるすべてのエー

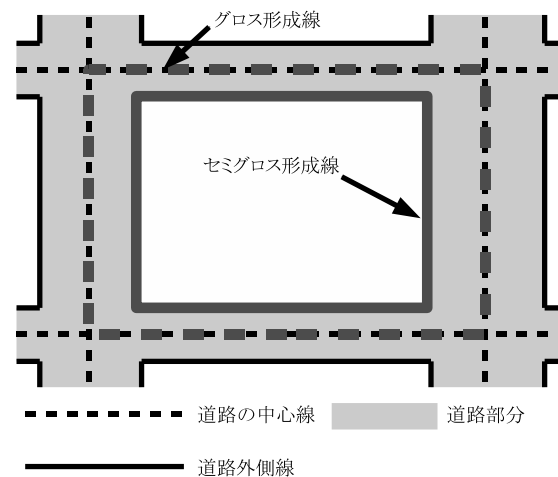


図 1: グロスとセミグロス

ジェントの残りの体力、 $Sint$  は災害救助活動前におけるすべてのエージェントの体力の合計、 $B$  は災害発生後に燃え残った建物の面積、 $Bint$  は災害発生前におけるすべての建物の面積である。

エージェントには体力という属性が与えられ、体力が 0 になると活動できなくなる。シミュレーションが進むにつれてエージェントの体力は減り、火災が消火できない場合は建物は延焼する。そのためシミュレーションが進むにつれて減点されていくことになる。

また、式 (1) には、建物に関する情報が含まれている。そのためこの評価方法で導き出されるエージェントの評価値は、エージェントの動作する環境を考慮して算出される値である。

## 3 地図の特徴の指標

この節では、顔瀬らが定義した「建物および道路に関する地図の特徴の指標」について説明する。

### 3.1 諸定義

建物および道路に関する地図の特徴の指標を定義するにあたり、もちいる言葉の意味を説明する。

グロス: 道路の中心線によって囲まれる最小単位の区画。

道路外側線: 道路の中心線からその道路の幅員の半分だけ離れた線。

セミグロス: 道路外側線によって囲まれる区画。

図 1 において、破線で囲まれている範囲がグロス、実線で囲まれている範囲がセミグロスである。

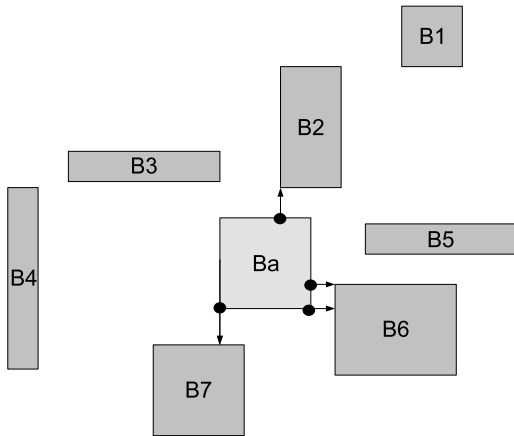


図 2: 建物と建物との隣接

建物と建物との距離：ある建物 B1 と建物 B2 において、B1 の各壁面から B2 の各壁面までの距離の中でもっとも小さいもの。

隣接建物集合：当該グロス内において、ある建物 Ba の壁面ごとに、もっとも近い建物の壁面を探す。この壁面ごとにもっとも近い壁面を持つ建物の集合。

図 2(建物 Ba の各壁面からもっとも近い建物の壁面を矢印で示している)において、建物 Ba と隣接する建物は B2, B6, B7 である。

建物と道路との隣接：次のいずれかの条件を満たすとき、建物 B と道路 R は隣接するという。

- ある道路 R の外側線から 5 メートル以内に建物 B の壁面がある場合。
- 当該グロス内において、ある建物 B とそのグロスを形成する各道路の中心線との距離の中で、最小の値を  $D_{min}$  とする。このとき、建物 B と、グロスを形成する道路のうちの一つである道路 R の外側線との距離が  $D_{min}$  より短い場合。

道路外側線に沿って建つ建物：ある道路 R の外側線 Rb から 5 メートル以内に建物 B の壁面がある場合、建物 B は道路 R に沿って建つ建物であるという。

図 3 において、建物 B1, B2 は道路 R1 と隣接し、建物 B2, B5 は道路 R2 と隣接する。また建物 B3 において、道路 R2 の中心線との距離 D1 が  $D_{min}$  であるとする。このとき、道路 R1 の外側線との距離 D2 が D1 より短ければ、道路 R1, R2 の両方に隣接することになる。道路 R1 に沿って建つ建物は建物 B1, B2 であり、道路 R2 に沿って建つ建物は建物 B2, B5 である。

従属度 [8]：ある建物 B1 の隣接建物集合の中で、もっとも建築面積の広い建物 B2 の建築面積を建物 B1 の建築面積で割る。この数値を建物 B1 の従属度とする。

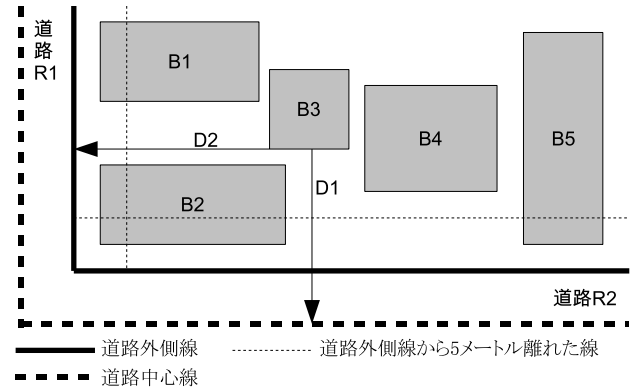


図 3: 道路と建物との隣接

最大隣接建物距離 [8]：ある建物 B1 の隣接建物集合の中で、もっとも遠い建物 B2 との距離を建物 B1 の最大隣接建物距離とする。

最小隣接建物距離 [8]：ある建物 B1 の隣接建物集合の中で、もっとも近い建物 B2 との距離を建物 B1 の最小隣接建物距離とする。

配置配分比 [8]：ある建物 B の最大隣接建物距離と最小隣接建物距離の差を、建物 B の最大隣接建物距離で割ったものを、建物 B の配置配分比とする。

接道距離 [9]：ある建物 B と隣接する道路 R との距離を、建物 B と道路 R との接道距離とする。

建物の道路に面する長さ：ある建物 B の壁面の各端点から道路 R の外側線 Rb に垂線を引き、その交点の中でもっとも遠い 2 点間の距離を、建物 B が道路 R に面している長さとする。ただし、建物 B のある壁面の端点 We から線分 Rb に垂線が引けない場合、We から Rb への垂線との交点は We に近い方の線分 Rb の端点であるとする。

隙間率 [10]：ある道路 R の外側線 Rb に沿って建つ建物群が道路に面している長さと道路外側線 Rb の長さの差を  $D_g$  とする。 $D_g$  を道路外側線 Rb の長さで割った値を、隙間率とする。ただし、建物が道路に面している長さに関しては、道路に沿って建つ建物同士で重複している部分は除く。

図 4 中では、2 つの両矢印の長さの和を道路外側線の長さで割った値が隙間率となる。また、図中右端の建物は道路外側線より外に張り出すような形になっているが、この場合、張り出した部分は道路に面する長さに含まない。

沿道建物数：ある道路 R の外側線 Rb に沿って建つ建物の数を、道路外側線 Rb の沿道建物数とする。

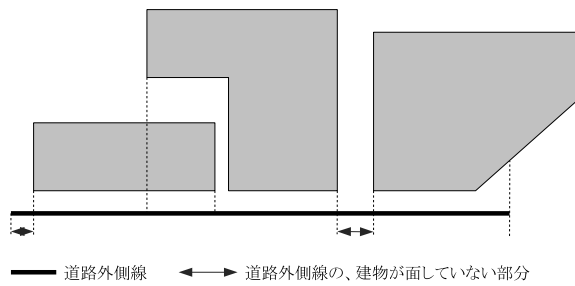


図 4: 建物が重複する場合の隙間率

### 3.2 計算項目の定義

上述の諸定義に基づいて、建物および道路の特徴を数値化する計算項目を定義する。災害救助エージェントの評価との依存関係を調べるための計算項目であることを考慮し、災害救助活動の特性を踏まえて建築面積、建物の要素、建物と建物の位置関係、建物と道路の位置関係密度、の 5 分類にわけて定義する。

**建築面積** 地震火災においては、1つの街区内でまとめて延焼する。したがって、1つの街区内にどれだけ建物が建っているかを、以下の 6 項目で数値化する。

- (1) **グロス建蔽**  
グロスの面積とグロス内の建築面積の割合の平均値。
- (2) **セミグロス建蔽率**  
セミグロスの面積とセミグロス内の建築面積の割合の平均値。
- (3) **グロス容積率**  
グロスの面積とグロス内の延床面積の割合の平均値。
- (4) **セミグロス容積率**  
セミグロスの面積とセミグロス内の延床面積の割合の平均値。

**建物の要素** 火災や市民の埋没は建物の構造に影響を受ける。よって、建物の階数など建物単独での要素を以下の 2 項目で数値化する。

- (5) **建物の周長**  
建物を形成する多角形の周長の平均値。地図データ上の建物の形の特徴を表す項目である。
- (6) **建物の階数**  
建物の階数の平均を表し、その地図データ上の建物の高さを表す項目である。

**建物と建物の位置関係** 火災の延焼は、建物の配置に影響を受けると考えられる。そこで、建物間がどの程度離れているか、などの建物間の位置関係を以下の 4 項目で数値化する。

- (7) **従属度**  
建築面積のばらつきを表し、大きい値になるほどその地図上の建物の建築面積にばらつきがあることになる。
- (8) **最大隣接建物距離**  
建物間の距離の特徴を表し、小さい値になるほどその地図上で建物同士が近接していることになる。
- (9) **最小隣接建物距離**  
建物間の距離の特徴を表し、大きい値になるほどその地図上で建物同士が離れていることになる。
- (10) **配置配分比**  
建物間の距離のばらつきを表し、1 に近づくほどその地図上の建物が均等の間隔で配置されていることになる。

**建物と道路の位置関係** 街区を越えた延焼は、道路と建物の距離などに影響を受ける。よって、各街区を区切る道路と、建物との位置関係を以下の 3 項目で数値化する。

- (11) **接道距離**  
建物と道路の距離を表し、小さい値であるほど建物が道路に近い地図であるといえる。
- (12) **隙間率**  
道路から見た建物間の距離を表し、小さい値であるほど道路に沿って建物が密集しているといえる。
- (13) **沿道建物数**  
道路に近い建物が道路 1 本あたりにどれだけ建っているかを表す。

**密度** 埋没している市民の探索や、道路を跨ぐ延焼においては、建物や道路がどれだけあるかが問題になると考えられる。そこで、単位面積当たりどの程度あるか、などの密度を以下の 3 項目で数値化する。

- (14) **道路の総延長**  
地図内の道路の長さの総和であり、これが大きい値である場合、道路がその地図で密集しているか、その地図の面積が広いかのいずれかであるといえる。

#### (15) 道路密度

地図内で道路の占める面積の割合であり、これが大きい値である場合、その地図は道路が密集しているといえる。

#### (16) 棟数密度

地図内の建物数を地図の面積で割った値であり、これが大きい値である場合、その地図には建物が密集しているといえる。

### 3.3 計算項目の除去

計算項目間で従属関係があると、災害救助エージェントの評価と計算項目との依存関係を正しく分析できない可能性がある。そこで、重回帰分析で説明変数を除去する際にもちいられる分散拡大要因 (VIF) を基準として、項目間で従属関係が見られるものを除去する。まず、本研究の実験でもちいる 20 地域の地図データに対し前述 16 項目の数値を算出し、各計算項目の VIF を求める。VIF が 10 以上のものがあるとき、もっとも VIF の値が大きい計算項目を取り除く [12]。これを VIF が 10 以下になるまで繰り返し、計算項目間で従属関係のあるものを除去する。

また、現在の RoboCupRescue シミュレータでは建物の階数を考慮したシミュレーションを行っていない。そのため建物の階数を指標から除去する。

### 3.4 地図の特徴における指標の定義

残った計算項目を地図の特徴の指標として定義する。結果、建物および道路の特徴の計算項目のうち (3), (5), (7), (8), (10), (11), (12), (14), (15), (16) の 11 項目を総称して、地図の特徴の指標と定義した。

## 4 実験

### 4.1 実験の目的

本実験では、以下のことを目的として実験を行う。

- いくつかの災害救助エージェントをもちいて RoboCupRescue シミュレーションを行い、その結果を継続らが定義した建物および道路に関する地図の特徴の指標をもちいて統計的に分析する。
- 分析結果をもちいて、先の分析ではもちいていない地図における RoboCupRescue シミュレーションの評価を予測し、実測した評価と比較する。

### 4.2 実験の手順

実験の手順を以下に示す。

1. シミュレーションの設定、使用する地図データ、エージェントアルゴリズムを決定する。
2. 決定した設定でシミュレーションを行う。
3. 得られた結果を重回帰分析を行い、建物および道路に関する地図の特徴の指標を使って都市価値維持率の予測を行う。
4. 手順 2 で使った地図データとは別の地図データに対してシミュレーションを行い、その結果を予測した都市価値維持率と比較する。
5. 建物および道路に関する指標から都市価値維持率を予測できるか検証・考察する。

### 4.3 分析の方法

本研究ではシミュレーション結果の分析に、重回帰分析という統計手法をもちいる。重回帰分析とはいくつかの変数  $X_1, X_2, \dots, X_n$  に基づいて、別の変数  $Y$  を予測する手法である [13]。予測に使う変数  $X_1, X_2, \dots, X_n$  を独立変数、予測される変数  $Y$  を従属変数という。

重回帰分析を行うことで、従属変数を独立変数の位置時式で表わした重回帰式を得る。得られた重回帰式がどの程度従属変数を説明できているかは、決定係数の値を見ることで判定できる。決定係数が 1 に近いほど重回帰式の精度は高いと判定される。

しかし決定係数は、独立変数の数が増えると、重回帰式の精度に関わらず大きくなる。そこで本研究では、説明変数の数を考慮した自由度調整済み決定係数をつかって判断する。重回帰式の精度が高くなる程、決定係数の値は 1 に近づく。

また重回帰分析を行うと、各独立変数に対して p 値が算出される。p 値は重回帰式での各独立変数の係数が 0 である確率で、その独立変数が従属変数の予測に意味をなしていない確率を表している。

本実験では道路および建物に対する地図の特徴の指標を独立変数、都市価値維持率を従属変数として分析・予測を行う。

### 4.4 使用するエージェントアルゴリズム

既存研究では検証に特定のエージェントのみをもちいたことを問題としてあげた。

本研究では、RoboCup の大会で使われるすべてのエージェントアルゴリズムをもちいてシミュレーショ

ンを行い、結果を分析することが望ましい。しかしそれは、シミュレーションにかかる時間やエージェントアルゴリズムの入手方法が問題となるため、現実的ではない。

そこで本研究では、エージェントアルゴリズムの公開が義務付けられている、RoboCup 世界大会の上位入賞アルゴリズムをもちいてシミュレーションを行う。また、RoboCupRescue に参加する多くのチームが公開された上位のエージェントアルゴリズムを基に開発を行っている。したがって、これらのエージェントアルゴリズムをもちいることで、実験に使用するエージェントアルゴリズムは、RoboCupRescue で使われるアルゴリズムの多くを含んでいると考えられる。

以上の点を踏まえて、実験には次のエージェントアルゴリズムをもちいる。これらは RoboCup2008 で上位入賞したチームのアルゴリズムである。

- MRL(イラン)
- Impossible08(イラン)
- SUNTORI(日本)
- CSU\_YunLu(中国)

#### 4.5 シミュレーションの設定の基準

本研究では実際の都市データをもちいてシミュレーションを行う。したがって、各自治体の公表データをもちいるなどできる限り現実に近い条件設定を行った。

##### 4.5.1 対象とする地図データ

東海・東南海連動地震に対して震度や被害の予測が詳細に立てられている名古屋市を対象とする。地図データは既存研究で使われた 47 個の地図をもちいる。このうち、23 個を重回帰分析に、24 個を予測の検証にもちいる。

##### 4.5.2 シミュレーション開始時の設定

RoboCupRescue シミュレーション開始時に設定する事項を以下に列挙する。

###### 震度

東海・東南海連動地震で想定されている震度をもとに設定する。

###### 災害救助エージェントの設定

1 つの地図データに対し、消防署の 1 出張所が担当したことを想定して設定した。

###### 市民エージェントの設定

その地図データの人口密度をもとに設定した。

###### 避難所・出火点の設定

避難所については、各行政区の避難所数をもとに設定した。出火点については、名古屋市の被害予測をもとに設定した。

###### 道路閉塞

阪神・淡路大震災における道路閉塞の状況をまとめた家田らの研究 [14] をもとに、道路の幅員と震度に応じて設定した。

###### シミュレーション時間

シミュレーションの時間に関しては、現実の地震災害ではどこまでで終わり、ということはない。よって、この設定項目は RoboCup の Rescue シミュレーション競技会を基準とし、実時間の 5 時間に相当する時間とする。

#### 4.6 エージェントの評価指標

エージェントの評価指標に関して、RoboCupRescue シミュレーションでは、2.2 節で示した式 (1) で算出される都市価値  $V$  のシミュレーション終了時の値をエージェントの評価値としている。しかしこの値は、シミュレーション開始時のエージェント数に影響をうける。そのため、本実験では RoboCupRescue シミュレーション終了時の都市価値  $V_{end}$  をシミュレーション開始時の都市価値  $V_{ini}$  で割った値を都市価値維持率  $V_{rate}$  とする。しかし、RoboCupRescue シミュレーションは乱数成分を含んでおり、また、シミュレーション開始時のエージェントの配置などにも影響を受け、シミュレーションごとにその結果は異なる。よって、1 つの地図データにつき複数回のシミュレーションをエージェントの配置などを毎回変えて行う。そして、その地図データでの  $V_{rate}$  の平均値をその地図データにおけるエージェントの評価指標とする。

#### 4.7 シミュレーション回数

4.6 で述べたように、1 つの地図データにつき複数回のシミュレーションを行う。

ここで、1 つの地図データに対しあるエージェントアルゴリズムを適用したときの都市価値維持率の母平均を  $\mu$ 、標本の平均を  $\bar{V}$ 、標本の標準偏差を  $\sigma$  とする。ある地図データで MRL をもちいて 30 回のシミュレーションを行い、 $\bar{V}$ 、 $\sigma$  を求めた。そして、信頼率 95% で  $\mu - \frac{\sigma}{2} \leq \bar{V} \leq \mu + \frac{\sigma}{2}$  の範囲に  $\bar{V}$  の値が入るためのシミュレーション回数を求めたところ、約 18 回であった。

このことから、十分に母平均が推定できるシミュレーション回数として、1つの地図データとエージェントアルゴリズムの組に対し30回のシミュレーションを行うこととする。

#### 4.8 シミュレーション結果と検証

前述のシミュレーション条件でシミュレーションを行い、予測値と実測値を比較した。そのうち結果が顕著であったMRLとSUNTORIでの結果を図5、図6に示す。

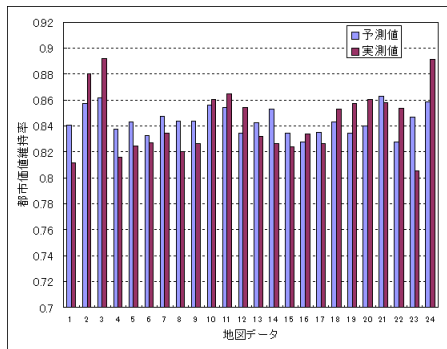


図 5: MRL での予測

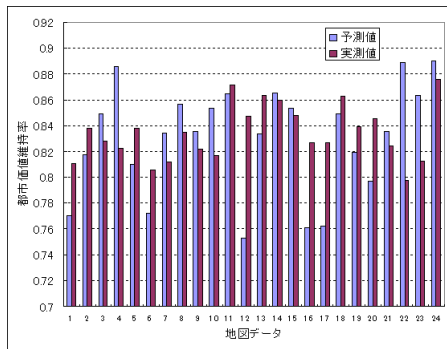


図 6: SUNTORI での予測

図5では予測値と実測値が大きく離れている地図はない。誤差の絶対値の平均値は0.0344、実測値の標準偏差は0.0308であり、MRLでは予測がうまくできている。一方図6では12番の地図や24番の地図で予測値と実測値が大きく離れている。誤差の絶対値は0.0344で実測値の標準偏差は0.0308より大きく、予測できているとはいきれない結果となった。

次に決定係数とp値をみることで、予測の内容を検証する。表1に各エージェントアルゴリズムに対して得られた重回帰式の決定係数、表2に各指標のp値を示す。

表 1: 自由度調整済み決定係数

アルゴリズム	自由度調整済み決定係数
MRL	-0.2048
Impossible	0.3571
SUNTORI	0.3999
CSU_Yunlu	0.3456

表 2: MRL と Impossible における指標の P 値

地図の指標	エージェントアルゴリズム	
	MRL	Impossible
セミグロス建蔽率	0.685	0.880
建物の周長	0.928	0.050
従属度	0.640	0.423
最大隣接建物距離	0.850	0.101
配置配分比	0.527	0.044
接道距離	0.956	0.045
隙間率	0.428	0.925
道路の総延長	0.570	0.466
道路密度	0.987	0.158
棟数密度	0.221	0.424

表 3: SUNTORI と CSU における指標の P 値

地図の指標	エージェントアルゴリズム	
	SUNTORI	CSU
セミグロス建蔽率	0.731	0.884
建物の周長	0.940	0.708
従属度	0.611	0.484
最大隣接建物距離	0.063	0.606
配置配分比	0.048	0.302
接道距離	0.091	0.691
隙間率	0.647	0.779
道路の総延長	0.003	0.403
道路密度	0.975	0.978
棟数密度	0.242	0.055

表1より、どのエージェントでも決定係数は高いといえない。グラフでは予測がうまくできていたMRLは特に決定係数が低く、予測が大きく外れている地図があったSUNTORIはこのなかでは最も決定係数が高い。このように、実測値との比較をすると予測をできているように見えても、決定係数が低く、予測の精度は高くないことがわかる。

そこで次の図2,3に、各エージェントのp値を示す。

本研究では  $p$  値が 0.05 以下の時にその指標が従属変数の予測に意味があると判断する。

図 2,3 よりどのエージェントでも  $p$  値が大きい。特に MRL では全ての指標で  $p$  値が 0.05 より大きく、指標が予測に意味をなしていない可能性が高い。つまり MRL の予測結果にあまり意味がないことが考えられる。

SUNTORI の  $p$  値をみると、配置配分比と道路の総延長の  $p$  値が低く、これらの指標は SUNTORI の評価予測に意味をなしている。そこでこの二つの指標を使い SUNTORI の重回帰分析をやり直した。その結果得られた自由度調整済み決定係数を次の表 4 に示す。

表 4: 指標を限定した重回帰分析での自由度調整済み決定係数

アルゴリズム	自由度調整済み決定係数
SUNTORI	0.2705

表 4 に示されるように、意味がある可能性が高い指標のみをもちいて重回帰分析を行っても、自由度調整済み決定係数は改善しなかった。以上のことから、本研究の実験でもちいた条件が不十分であったために、指標とエージェントの評価の依存関係をうまく分析できなかったと考えられる。

#### 4.9 予測できなかった理由の考察

次の三つが理由として考えられる。

##### (i) 評価方法の問題点

現在 RoboCupRescue シミュレーションで使われている都市価値は、消防、救急、啓開の各エージェントの動きを総合的に評価している。そのため、本研究で予測した都市価値維持率も各エージェントの動きを総合的に評価したものであるといえる。しかし、たとえ各エージェントの動きが地図の特徴に依存していたとしても、その依存関係はエージェントによって異なるため、それらを統合することによって結果としてエージェントの動きと環境の依存関係が分かりづらくなっている可能性がある。

##### (ii) シミュレーションの設定

本研究では、東海・東南海連動地震によって被害が出るのが予測される名古屋市から切り出した地図をもちいてシミュレーションを行った。また、災害救助エージェント数、市民エージェント数、出火点の数等の設定も、現実の数値を基にして設定を行った。しかし、このような設定は、建物お

よび道路に関する地図の特徴の指標以外に、エージェント数や出火点の数、地図の大きさがエージェントの評価に影響を与えると考えられる。さらに名古屋市内の地図に、ある共通する特徴があることも考えられる。このような地図を対象に分析を行っても、一般的な分析結果を得ることはできない。

##### (iii) エージェントアルゴリズムの変化

RoboCupRescue 大会では、エージェントの評価を上げるために、地図に合わせてアルゴリズムを変更する手法が導入されてきている。また、最近の RoboCupRescue 大会で上位チームのアルゴリズムは、シミュレーション開始前に対象とする地図の解析を行う。それにより以下の振る舞いが可能となっている。

- 地図内での最短経路の探索
- 建物の情報から、火が燃え広がりやすい区画を計算し、それを基にした消火活動
- 地図の特徴に合わせたシミュレーション実行時における動的なアルゴリズムの変更

このようなエージェントアルゴリズムの変化により、エージェントの評価は地図の特徴にあまり依存しないと考えられる。その結果、エージェントアルゴリズムと地図の特徴を表した、建物および道路の特徴に関する地図の指標との相関が低くなってしまったと考えられる。

(iii) で、エージェントアルゴリズムと地図の特徴との相関が低くなってきていると述べた。しかし 2008 年の RoboCupRescue 世界大会では、地図によってエージェントの評価の優劣が変わっている。ここから、RoboCupRescue のエージェントの評価は、環境と何らかの関係を持っていると考えられる。本研究では (i) の理由から、エージェントの評価が地図の特徴と関係を持っているのか、それとも地図の特徴以外で被災空間に含まれる他の何かと関係を持っているのか、がわからなかった。

そこで、エージェントの評価を予測するためには、まずエージェントの評価と、これまでに我々が定めた地図の特徴との依存関係の有無をはっきりさせる必要があると考えられる。そのために、次のようなシミュレーションと評価方法を導入する必要がある。

まず、(i) で述べたように、エージェントの評価から、建物および道路に関する地図の特徴以外の影響をなくさなければならない。そのために、広さは同じだが、異なる特徴を持った地図を用意し、エージェント数、出火点の数等の設定を等しくしたシミュレーションを行う。次に (ii) で述べた問題を解決するために、各災害救助エージェントの動きを個別に評価する。こ



れにより得られた結果を分析することで、エージェントの評価と地図の特徴との依存関係の有無をはっきりさせることができると考えられる。

## 謝辞

本研究の一部は、東京大学空間情報科学研究センターの研究用空間データ利用を伴う共同研究(研究番号172)による成果であり、以下のデータを利用した。

ゼンリン提供: ZmapTownII(shape 版) 愛知県名古屋市など

## 参考文献

- [1] 木下哲男, 菅原研次. エージェント指向コンピューティング~エージェントの基礎と応用~. ソフトリサーチセンター, 1995.
- [2] 田所諭, 北野宏明. ロボカップレスキュー 緊急大規模災害救助への挑戦, 2000.
- [3] 瀬戸口陽一. RoboCupRescue シミュレーションにおける道路ネットワークの複雑さについて. 名古屋工業大学平成 19 年度修士論文, 2007.
- [4] 瀧澤寛明. 建物および道路に関する地図の特徴と災害救助エージェントについて. 名古屋工業大学平成 19 年度修士論文, 2007.
- [5] 瀬戸口陽一, 荒井亮太, 伊藤暢浩, 岩田員典, 金田洋平, 犬塚信博, 和田幸一. 道路ネットワークの複雑さとマルチエージェントシミュレーションとの関連性についての考察. 2007 年人工知能学会全国大会投稿論文 2E5-7, 2007.
- [6] 国土地理院. <http://www.gsi.go.jp/>
- [7] 建ぺい率・容積率の求め方. <http://www.js.yamanashi.ac.jp/skita/kofurepot1.htm>.
- [8] 斉藤千尋. 建物の独立性と配置構成のパターン: 最近接建物集合に関する研究 (2) 日本建築学会大会学術講演梗概集 F-1 都市計画建築経済・住宅問題 Vol.1999 pp.689-690, 1999.9.
- [9] 田中華子, 和田幸信, 白井清文, 田所浩史, 藤井健友. 法定都市計画 (PLU) による景観保全 3. 建ぺい率と建物の配置: フランスにおける旧市街地の修復に関する研究 その 52(ヨーロッパの景観, 都市計画). 日本建築学会大会学術講演梗概集 F-1 都市計画建築経済・住宅問題 Vol.2006 pp.433-434, 2006.9.
- [10] 鷺崎桃子, 刀根令子, 及川清昭. 画像処理技法による建物間の隙間の定量化に関する研究 日本建築学会大会学術講演梗概集 計画系 Vol.2002 pp.611-612, 2002.8.
- [11] 日本建築学会編. 建築・都市計画のためのモデル分析の手法. 井上書院, 1992.
- [12] 永田靖, 棟近雅彦. 多変量解析入門. サイエンス社, 2001.4.
- [13] 統計学自習ノート. <http://aoki2.si.gunma-u.ac.jp/lecture/Regression/mreg/index.html>
- [14] 家田仁, 上西周子, 猪股隆行, 鈴木忠徳. 阪神・淡路大震災における「街路閉塞現象」に着目した街路網の機能的障害とその影響. 土木学会論文集 No.576 / IV-37 pp.69-82, 1997.10.