

震災総合シミュレーションシステムを用いた防災シミュレーション

Disaster Prevention Simulation with the Integrated Disaster Simulation System

*1 夏目 恵介
Keisuke Natsume

*1 加藤 和也
Kazuya Kato

*2 伊藤 暢浩
Nobuhiro Ito

*3 岩田 員典
Kazunori Iwata

*1 渡邊 日出光
Hidemitsu Watanabe

*4 竹内 郁雄
Ikuo Takeuchi

*1 和田 幸一
Koichi Wada

*1 名古屋工業大学
Nagoya Institute of Technology

*2 愛知工業大学
Aichi Institute of Technology

*3 愛知大学
Aichi University

*4 東京大学
The University of Tokyo

Special Project for Earthquake Disaster Mitigation in Urban Areas is the project aimed at decreasing the damages caused by big earthquakes. In the project, the simulation system for the project has been implemented, and we implemented rescue agents to the system. In this paper, we make sure the reproducibility of rescue agent we implemented. Then we present a concrete example of the utility with the simulation system.

1. はじめに

近年、各地で大規模災害が頻発し、甚大な被害が発生している。そのような大規模災害による被害を軽減するための取り組みの一つとして、文部科学省が進めている大都市大震災軽減化特別プロジェクトがある。このプロジェクトでは震災総合シミュレーションシステム (IDSS) の開発をおこなっている [1]。

本研究では、IDSS に実装されている消防エージェントの再現性の確認をおこなう。また、IDSS の利用例を具体的に提示する。

2. 震災総合シミュレーションシステム

震災総合シミュレーションシステム (IDSS) は、震災によって発生する火災や建物倒壊、道路閉塞などの現象、及び被災地域の人々の行動をコンピュータ上でシミュレートするシステムである。そのため、IDSS は、災害発生時におこなわれる救助活動の意思決定支援、及び平常時に仮想的な災害シミュレーションをおこなうことによる防災戦略の評価・震災に強い都市づくりなどへの利用を目的として開発されている。

IDSS は四つのシステムから構成されている。我々は四つの構成要素の一つ、災害予測・対応シミュレータ群の開発プロジェクトにエージェント設計者として参加している。

災害予測・対応シミュレータ群

災害予測・対応シミュレータ群は、時系列に沿った被災地域のシミュレーションをおこなうものである。複雑かつ広域な被災地域を忠実にシミュレートするために、図 1 のような構成で以下の仕組みが導入されている。

分散カーネル 分割された地域を各カーネルが統括・管理し、カーネル間の相互通信によって分割地域を接続する。これにより、任意の広さの被災地域をシミュレートすることが可能になる。

S-API サブシミュレータとカーネル間のインターフェース。様々なサブシミュレータのプラグインを可能にする。

SSTD 地図や人という被災地域に存在するオブジェクト群とその状態情報の時系列データベース。任意の時間からシミュレーションを再開することを可能にする。

サブシミュレータ 火災、地震、人々などの各事象を計算するシミュレータ。我々はサブシミュレータの内の一つであるエージェントサブシミュレータの開発をおこなっている。エージェントサブシミュレータは、被災地域での人々の活動をシミュレートするものである。

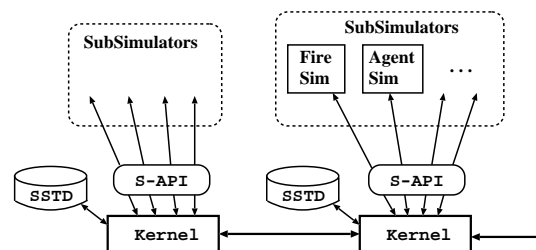


図 1: 災害予測・対応シミュレータ群の構成

このシミュレータ群は各サブシミュレータを現実に沿うように設計・実装することで、被災地域の忠実な表現を目指している。そのため、我々はエージェント設計者として、現実の防災戦略に沿った救助活動をおこなう消防エージェントの設計・実装をおこなった [2]。

IDSS は、以上のような仕組みを導入するという方針で開発されてきた。しかし、IDSS を利用するためには、IDSS が現実を再現することができるということが確認されていなければならない。したがって、我々が実装した消防エージェントも、その再現性についての確認をおこなう必要がある。そのため、本研究では、消防エージェントの再現性の確認をおこなう。

また、防災戦略の評価・震災に強い都市づくりなどに IDSS が利用されるために、自治体などに IDSS を理解してもらう必要がある。そのため、我々は防災戦略の評価に IDSS が利用できることを示すシミュレーションをおこなった [2]。そこで、本研究では防災戦略の評価以外に IDSS が利用できることを示すために、IDSS が震災に強い都市づくりに利用できることを提示するシミュレーションもおこなう。

連絡先: 夏目 恵介, 名古屋工業大学, 愛知県名古屋市昭和区御器所町, TEL: 052-753-5408, FAX: 052-753-5408, natsume@phasel.elcom.nitech.ac.jp

3. IDSS を用いたシミュレーション

本研究では以下の 2 種類のシミュレーションをおこなう。

1. 消防エージェントの再現性の確認
2. IDSS の利用例の提示

それぞれのシミュレーションの内容について、以下で説明する。

1. 消防エージェントの再現性の確認

消防エージェントの再現性を確認するために、現実の消防隊のデータと IDSS から得られたシミュレーション結果を比較する。現実の消防隊のデータとして「平成 18 年版 消防白書」[3] から以下の全国統計データを取得した。

- 火災発生から鎮火までにかかった時間の平均
- 焼損床面積の平均

これらのデータは、平常時（震災発生時以外の状況）に火災が発生した場合のデータである。また、火災が発生した建物の種類は、主に木造建築物である。そのため、平常時に木造建築物で火災が発生し、消防隊がその火災に対し消火活動をおこなうという状況を、IDSS を用いてシミュレートする。そして、得られたシミュレーション結果と上記の全国統計データを比較し、消防エージェントの再現性を確認する。

2. IDSS の利用例の提示

IDSS は、震災に強い都市づくりに利用されることを目的としている。そのため、IDSS の利用例として以下のシミュレーションをおこなう。

- 消火栓の故障による影響

シミュレーションの詳細を以下に述べる。

消火栓の故障による影響

消火栓は、過去の震災による経験を活かして強度が上げられているが、壊れて利用不可能になる可能性は無いとは言い切れない。そこで、このシミュレーションでは、実際に一部地域の消火栓が壊れて利用不可能になった場合と、消火栓が全て利用可能である場合についてシミュレーションをおこなう。そして、これらのシミュレーション結果を比較することで、どの程度被害に影響が出るのかについて調べる。その結果から、IDSS が震災に強い都市づくりに利用できることを示す。

4. 消防エージェント、消防団エージェント

我々は名古屋市消防局（以下、消防局）の協力により得た情報を参考にして、エージェントの行動を現実の防災戦略に近いものとなるように設計・実装している。我々は、現実の消防隊を以下のようにモデル化した。

消防隊のモデル化

- 消防センターからの消防隊への指令、消防隊の隊長による指揮など、上下関係を持つ組織で構成されている。
- 消防センター・消防隊間で無線通信をおこなう。
- 火災現場への出動時に、消防車に搭乗する。
- 消防車に搭載されているホースを水利（消火栓、防火水槽など）につなぐ、またはホースを水利から取り外す。

- 消防隊 1 隊の隊員数が 3 人の場合は 1 口放水、4 人以上の場合は 2 口放水をおこなう。1 口の放水量は一般的な 1 口の放水量である毎分 600 リットルとした。

また、現実の震災では消防団も消火活動をおこなう。そのため、我々は現実の消防団を以下のようにモデル化した。

消防団のモデル化

- 火災現場への出動時に、消防団の専用車両に搭乗する。
- 消防団の専用車両に搭載されているホースを水利（消火栓、防火水槽など）につなぐ、またはホースを水利から取り外す。
- 消防団と消防隊の間では、消火活動に対する能力に差がある。そのため、消防団の放水量は消防隊の放水量の 4 分の 1（毎分 150 リットル）とした。また、消防団によるホースの水利への接続時間、ホースの片付け時間は消防隊の 2 倍の時間がかかるとした。

我々は以上のモデルを参考にして、IDSS に消防エージェント、及び消防団エージェントを設計・実装した。

5. 消防エージェントの再現性

平常時に木造建築物で火災が発生した場合の消防隊の消火活動を、IDSS の消防エージェントを用いてシミュレートする。そして、得られた結果と全国統計データを比較することで、IDSS 上の消防エージェントの再現性を確認する。

シミュレーションの設定は以下の通りである。

1. 対象地域

名古屋市のある地域。図 2 に対象地域を示す。この地域の広さは、縦 4 km、横 6 km である。

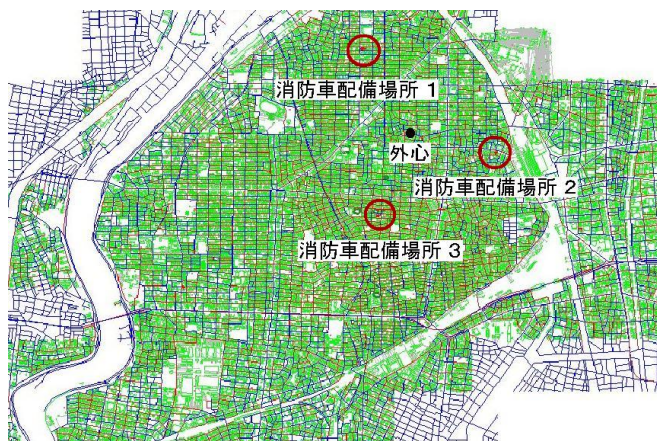


図 2: 名古屋市のある地域

2. 消防隊、及び消防車

消防隊、及び消防車を図 2 に示す消防車配備場所に配備した。これらの場所は現実の消防署の位置と同じである。消防隊 1 隊につき、消防車を 1 台使用する。また、消防局の協力により得た情報を参考にして、消防車の移動速度は時速 30km とした。

消防局の協力により得た情報を参考にして配備した消防隊数、消防車の台数はそれぞれ以下の通りである。

- 消防車配備場所 1: 消防隊 1 隊, 消防車 1 台
- 消防車配備場所 2: 消防隊 1 隊, 消防車 1 台
- 消防車配備場所 3: 消防隊 3 隊, 消防車 3 台

3. 建物の構造

火災が発生する建物は主に木造建築物のため、出火点を木造建築物にした。それ以外は、全国の木造・非木造建築物の割合と同じになるように設定した [4]。

4. 火災の発生場所

3 箇所ある消防車の配備場所の外心とした。そのため、消防車が火災現場に到着するために要する時間が最大となる。名古屋市では、5 分以内に火災現場に到着できるように消防車を配置している。したがって、外心に 5 分以内で到着できれば、外心円内のどの場所にも 5 分以内で到着することができ、現実と一致させることができる。

5. 遅延

火災の通報所要時間は、東京消防庁のデータを基に 5 分に設定した [5]。

これらの設定でシミュレーションをおこなったところ、表 1 の結果が得られた。

表 1: 木造建築物火災の鎮火シミュレーションの実行結果

	全国統計データ	実行結果
鎮火に要した時間 (分)	20	17
焼損床面積 (m^2)	45.5	20.7

火災発生から鎮火までの所要時間は、現実を再現出来ていると考えられる。しかし、焼損床面積は、全国統計データとシミュレーションの実行結果に差が見られた。この理由として以下の 2 つが考えられる。

数値化できないものによる影響

現在の IDSS では、焼損床面積の計算に深く関わっている「建物の可燃物量を表す値」が、建物の構造 (木造・非木造建築物) によって決まった値となっている。本来、この値は、建物毎に異なる値であると考えられるが、現実には数値化することが困難な値である。そのため、現在の IDSS に設定されている値と、現実の値の間には差があると考えられる。また、今回のシミュレーションでは、天候や気候などの設定をおこなっていない。現実にはこれらの影響も考慮すべきだが、これらも数値化することが困難な値である。したがってこれらの影響により、シミュレーションから得られた焼損床面積と全国統計データの焼損床面積との間に差が生じたと考えられる。

焼損床面積のばらつき

全国統計データの焼損床面積は、ばらつきが大きいのではないかと考えられる。全国統計データは、全国で発生した火災による被害の平均値であるため、木造住宅密集地で発生した火災や、ぼやなどのデータも含まれている。そこで、今回のシミュレーションと同じ設定で、建物の種類だけをすべて木造建築物に変更した場合のシミュレーションを行い、焼損床面積を調べた。

新たにシミュレーションをおこなったところ、表 2 のような結果となった。表 2 より、全ての建物が木造建築物の場合には、全国統計データを大きく上回る結果となった。このことから、より多くのシミュレーションを行って結果の平均を取ることで、全国平均データに近い値になる可能性があると考えられる。

以上のことを考慮すると、消防エージェントの再現性に関しては適当であると考えられる。

表 2: 全てを木造建築物とした場合のシミュレーションの実行結果

	全国統計データ	実行結果
焼損床面積 (m^2)	45.5	447.6

6. IDSS の利用例

IDSS を震災に強い都市づくりへ利用するための例として、震災時に消火栓が壊れた状況をシミュレートする。そして、消火栓が壊れたことによる被害への影響を調べる。

シミュレーションの設定は以下の通りである。

1. 対象地域

消防エージェントの再現性のシミュレーションと同じ地域。図 2 に対象地域を示す。

2. シミュレーション時間

実時間で 3 時間 30 分に相当する時間とした。

3. 消防隊、及び消防車

消防隊、及び消防車を図 2 に示す消防車配備場所に配備した。消防隊 1 隊につき、消防車を 1 台使用する。また震災時のため、消防車の移動速度は時速 20km とした。消防局の協力により得た情報を参考にして配備した消防隊数、消防車の台数はそれぞれ以下の通りである。

- 消防車配備場所 1: 消防隊 2 隊, 消防車 2 台
- 消防車配備場所 2: 消防隊 2 隊, 消防車 2 台
- 消防車配備場所 3: 消防隊 3 隊, 消防車 3 台

4. 消防センター

消防センターは消防車配備場所 3 に 1 体配置した。

5. 消防団

この地域に存在する消防団 18 団を全て、現実と同じ集合場所に配置した。

6. 出火数・出火点

10 箇所 (木造住宅密集地域 2 箇所, その他 8 箇所の木造・非木造建築物) とした。

7. 震災の規模

阪神・淡路大震災と同規模の地震とした (ただし、この地域の震度マップに従い、震度に偏りを持たせた)。

8. 建物の構造

木造住宅密集地域に該当する建物を木造建築物に設定した。その他の建物は、この地域の木造住宅数を満たすように木造建築物を設定し、それ以外は非木造建築物に設定した。

9. 防火水槽

防火水槽は、現実と同じ場所に配置した。

10. 建物倒壊・閉塞

建物倒壊は、名古屋市がこの地域で想定している建物倒壊数を参考にして設定した。倒壊させる建物は、震度マップを参考に偏りを持たせて設定した。また、建物が倒壊した付近の道路を閉塞するように設定した。

11. 消火栓が壊れた地域

震度マップから西側の地域の震度が高くなると予想されている。そのため、西側の地域の消火栓を全て使用不可能にした。結果として、この地域の消火栓全体の 50% が利用可能となった。

シミュレーションの結果を図 3, 図 4 に示す。

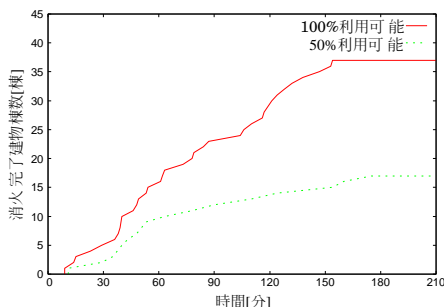


図 3: 鎮火した建物数の時間推移

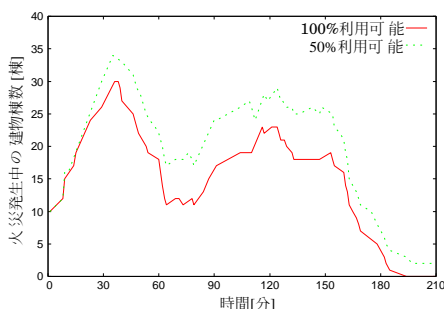


図 4: 火災が発生している建物数の時間推移

図 3 から、消火栓が 50% 利用可能である場合では消火栓が 100% 利用可能である場合の約半分しか鎮火できていないことが分かる。しかし、図 4 を見ると、火災が発生している建物数では、消火栓が 50% 利用可能である場合と消火栓が 100% 利用可能である場合の差は 5~9 棟ほどになっている。そこで、全焼した建物数を調べたところ、鎮火できていない建物はほとんど全焼していた。このことから、消火栓の利用可能率が火災の焼損被害に及ぼす影響は大きいと考えられる。

また、図 4 から火災が発生している建物数の時間推移が分かる。シミュレーション実行中の様子を調べたところ、以下のことが分かった。

- 木造住宅密集地域以外の火災は周りが非木造建築物であるため、延焼が発生しにくい。
- 木造住宅密集地域の火災は延焼速度が速いが、道路を越えて延焼するためには時間がかかる。
- 木造住宅密集地域の火災の一つは消火活動がおこなわれていた。

以上のことから、図 4 のような変化が得られた原因として、以下のようなことが考えられる。

0~30 分：木造住宅密集地域の火災の一つが延焼しているため、火災が発生している建物数が増加している。

30~60 分：木造住宅密集地域の火災が道路を越えて延焼するために、時間を要している。そのため、火災数が増加していない。また、消防隊、消防団が火災を鎮火するため、火災数は減少している。

60~120 分：木造住宅密集地域の火災が道路を越えて延焼しはじめるため、火災数が増加している。

120 分~：消防隊、及び消防団が、木造住宅密集地域の延焼に対し消火活動をおこなうため、火災が減少し、ほぼ全ての火災が鎮火する。

このシミュレーション結果から、消火栓の一部が使用不可能になった場合の被害への影響、及び火災数の時間推移やそれらの原因を検査することができる。そのため、IDSS は震災に強い都市づくりを考える際の一つのツールとして利用できると考えられる。

7. まとめと今後の課題

本研究では、IDSS に実装されている消防エージェントの再現性の確認をおこなった。また、消火栓が故障した場合の被害への影響をシミュレートすることで、IDSS が震災に強い都市づくりに利用できることを示した。

今後の課題は、消防エージェントの再現性で述べたように数値化できないものの影響をできる限り小さくすることで、より正確なシミュレーションができるようにしていかなくてはならない。

8. 謝辞

本研究を進めるにあたり、大都市大震災軽減化特別プロジェクト・震災総合シミュレーションシステムの開発グループの皆様のご協力をいただきました。ここに深く感謝いたします。

また、数々の情報を御提供していただきました名古屋市消防局の皆様にも深く感謝致します。

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 102)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: 377007ZmapTownII(shape 版) 愛知県名古屋市の一部地域など

参考文献

- [1] 文部科学省研究開発局, 独立行政法人防災科学技術研究所「大都市大震災軽減化特別プロジェクト 震災総合シミュレーションシステムの開発 平成 17 年度 成果報告書」2006.5
- [2] 伊藤 暢浩「震災総合シミュレーションによる名古屋市シナリオについて」人工知能学会全国大会論文 2006
- [3] 消防庁「平成 18 年版 消防白書」
<http://www.fdma.go.jp/html/hakusho/h18/index.html>
- [4] 内閣府防災担当ホームページ
<http://www.bousai.go.jp/manual/p-2-a.htm>
- [5] 大前 光昭「東京都における住宅用火災警報器の設置義務化などによる住宅防火対策の推進 ~ 火災予防条例の一部改正 ~」P.3. 2004.
<http://www.sonpo.or.jp/business/library/public/pdf/yj21828.pdf>