

大規模災害時の避難効率に対するインタラクションの影響

Influence of interaction on evacuation efficiency in large-scale disaster

太田正幸 野田五十樹
Masayuki Ohta Itsuki Noda

産業技術総合研究所

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

It is important to prepare measures against disaster beforehand from the viewpoint of disaster mitigation. For an approach to this, we implemented agents that can run on a disaster simulation system (IDSS) to investigate evacuation behaviors of civilians. This paper shows the brief description of IDSS, and presents some simulation examples comparing the relation between behavior pattern and evacuation efficiency. The results indicate the usefulness of disclosing individual information.

1. はじめに

近年、地震や津波などの自然災害に対する事前対策の重要性が再認識されつつある。しかし、災害は稀にしか発生しないため、対策を講じるための十分なデータがそろっていない。また、災害を想定して避難や救助の訓練を行なうことは多くの労力を要するため、頻繁には行なうことができない。そこで、我々は、大規模な都市型災害を扱うことが可能なシミュレーションシステム Integrated Disaster Simulation System (IDSS) の開発に参画し [4]、この上で様々なケースを試し、その結果を防災計画に活かすというアプローチを取っている。同様のアプローチを行なう研究は数多く存在する [1][3][2] が、IDSS は地理分割による並列処理を行ない、大規模なマルチエージェントシミュレーションを実現する数少ない例であり、これを用いることで、より広範囲の地域を対象とした研究が期待できる。本稿では、IDSS の概要を示した上で、市民の避難行動において、他人に付いて行く、他人を待つといった確率と避難効率との関係を調べたシミュレーション結果を示す。

2. 災害シミュレーションシステム IDSS

この節では、災害シミュレーションシステム IDSS について概説する。IDSS は、地理分割による並列処理、任意の事象の組み合わせ動作、事象毎の時間粒度の個別設定が可能であるという特徴を持つ。

2.1 シミュレータの構成

IDSS は、図 1 のように、対象地域を地理的に分割し、それぞれの領域を各々独立動作可能なシミュレーションシステムが担当することにより、並列にシミュレーションを行なう。各領域を担当するシステムは、時間の進行とデータストリームを制御する 1 つのカーネルと、個々の事象 (火災、交通など) を担当するサブシミュレータ群とによって構成される。シミュレーションは、各サブシミュレータが個別のタイミングでカーネルから必要な情報を受け取り、担当のシミュレーション結果を返すというサイクルを繰り返すことによって進行する。市民や救助隊などの人間 (またはロボット) はエージェントとして実現され、計算コストを削減するため、複数で共有する 1 つの proxy (APX) を介してカーネルと通信する。この APX は、他のサブシミュレータと同じように実装されている。サブシミュレ

タは、初期化の段階で、カーネルに対して、自分が必要な情報の種類を申告する。これにより、カーネルは各サブシミュレータに対してどの情報を流せば良いかを知ることができるため、IDSS は、独立に設計された様々な事象に関するシミュレータを必要に応じて組み合わせて用いることができる。地理的に分割した領域間には多少の重なりを持たせてあり、その「のりしろ」部分における競合解消によって、ある領域の影響が隣接する領域に伝播する。これに必要な通信もカーネルが行なう。

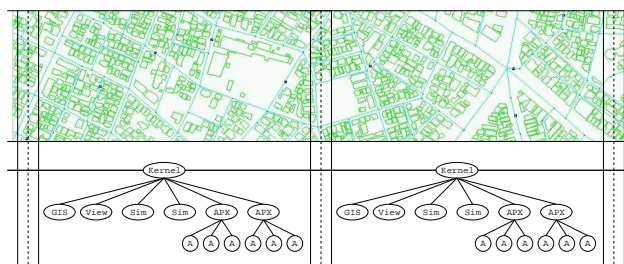


図 1: IDSS による地理分散

2.2 システムの動作

IDSS によるシミュレーションは次のように進行する (図 2)。カーネルは、各サブシミュレータが次に起動する時刻 (anchor) を記憶しておく。あるサブシミュレータが起動する時刻が来たら、カーネルはそのサブシミュレータに同期メソッド (sync) を送る。sync を受け取ったサブシミュレータは、担当する事象のシミュレーション結果を返し、現在の時刻から、自分がシミュレーション結果に変更を加えないことを保証する時間幅 (lookahead) だけ先に、次の anchor をセットする。カーネルは、現在の時刻にセットされた anchor が無くなったら、時刻を先に進める。以上を繰り返すことにより、シミュレーションが進行する。このシステムでは、サブシミュレータ毎に、保有するの現在時刻は異なる可能性がある。また、サブシミュレータ毎に独自の lookahead を指定することにより、異なる時間粒度のサブシミュレータを同時に動かすことも可能である。

3. シミュレーション例

IDSS を用いて、市民の避難行動のシミュレーションを行なった。約 300m×400m の市街地において、避難警報があり、直後に全市民 (100 人) が避難所に向かうという状況を想定する。

連絡先: 太田正幸, 産業技術総合研究所, 江東区青海 2-41-6, 03-3599-8214, 03-5530-2067, ohta@carc.aist.go.jp

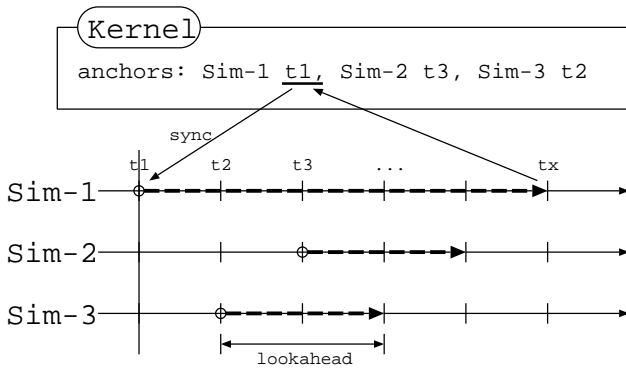


図 2: シミュレーションの進行

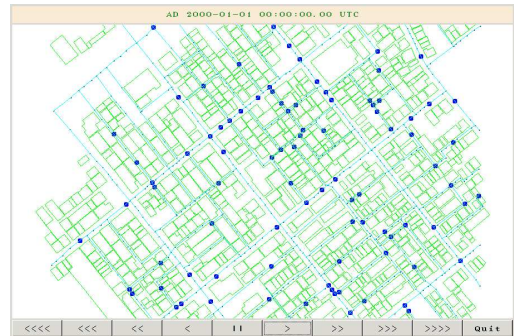


図 3: シミュレーションの初期状態

ただし、市民の中には避難所を知っている人と知らない人が含まれているものとする。その上で、以下の3つのパラメタが、一定時間内に避難所に到達できる人数に与える影響を調べた。

- 個々の市民が、避難所を知っている確率 (P_1)
- 避難所を知らない人が他人に追従する確率 (P_2)
- 避難所を知っている人が他人を待つ確率 (P_3)

また、各条件下で、避難所を知っている人を判別できる場合とそうでない場合との比較を行なった。

この実験では、市民はあらかじめ地図を全て知っているが、他人の情報と避難所は視界範囲内 (30m 以内) に入らないと知覚することができないものとした。避難所を知っている市民は、他人を待つ以外は全て最短経路で避難所に向かう行動を取る。また、避難所を知らない市民は、他人を追従する以外は全てランダムウォークを行なう。ただし、避難所が視界に入った場合には避難所を知らない市民も最短経路で避難所に向かうものとする。市民はシミュレーション時間で5秒を1ステップとして動作し、他人を追従、ランダムウォークなどの政策は30秒毎に P_2 , P_3 に従って変更される。初期状態 (図 3) において市民はランダムに選択された道路上に配置され、20分後に避難所に到達した人数によって避難効率を評価した。実験結果は、全て10回のシミュレーションの平均値を取った。

3.1 避難所を知っている人の割合による影響

初めに、避難所を知っている人の割合と避難効率との関係を調査した。 $P_2 = 0.5$, $P_3 = 0.0$ の2つを固定し、 P_1 を変化した場合の結果を図 6 に示す。避難所を知っている人の割合に対して、避難所に到達した人数がほぼ直線的に増えていることから、この結果は、避難所を知っている人の割合が増えても、避難所を知らない人が避難所に到達できる可能性はほとんど変化がないことを示している。これは、避難所を知っている人を区別できるかどうかとも無関係である。このような結果が生じるのは、避難所を知っている人を途中で見失ってしまう、避難所を知らない人どうしが集団になって取り残されてしまうから (図 4) である。この状況を改善するためには、避難所を知らない人がより高確率で他人に追従する (P_2 を増加させる)、避難所を知っている人が他人が追い付いて来るのを待つ (P_3 を増加させる) などの変更をせざるを得ない。以下2つのシミュレーション実験により、その効果を確認する。

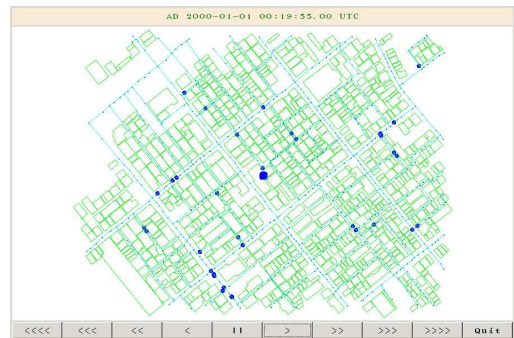


図 4: 多くの市民が取り残されている状況

3.2 他人に付いて行く人の割合による影響

次に、避難所を知らない人が他人に付いて行く割合と避難効率との関係を調査した。 $P_1 = 0.5$, $P_3 = 0.0$ の2つを固定し、 P_2 を変化した場合の結果を図 7 に示す。この結果は、全体の半数が避難所の位置を知っているという状況でも、適当に選んだ人に付いて行くだけでは、時間内に避難所に到達することは期待薄であることを意味している。それどころか、 P_2 が増加すると、ランダムウォークをする可能性が減る分、避難効率はむしろ減少するという結果を得た。反面、避難所を知っている人を区別する手段がある場合には、結果は大きく好転することが確認された (図 5)。これは、個々が自分の情報を開示することで、全体のパフォーマンスが向上する可能性を示唆するものであり、災害時に何らかの情報交換、発信などのインタラクションを行なう手段を用意することに意味を与える。

3.3 他人を待つ人の割合による影響

最後に、避難所を知っている人が、他人が追い付いて来るのを待つことによる避難効率への影響を調査した。 $P_1 = 0.5$, $P_2 = 0.5$ の2つを固定し、 P_3 を変化した場合の結果を図 8 に示す。(ただし、 $P_2 \geq 0.7$ の場合、避難所を知っている人でも時間内に避難所にたどり着けない場合がある。) この結果からは、たとえ避難所を知っている人が判別できる場合でも、他人を待つことの効果はわずかにしか見られない。さらに、時間内に避難所に到達できないことへのリスクを考えると、ぎりぎりまで待つ確率を高める必要性は感じられない。

3.4 考察

以上のシミュレーション結果から得られた結果を総合すると次のようになる。まず、相手を適当に選び、且つ頻りに変更しながら付いて行く場合、避難所を知らない人が避難所にたどり

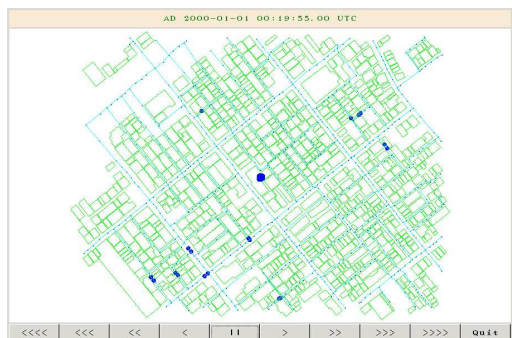


図 5: 避難所を知っている人に高確率で付いて行った場合

着ける可能性は低いいため、そのような戦略は適切ではない。これは、避難所を知っている人を途中で見失ってしまうことが原因だが、避難所を知っている人が他の人を待つことには、リスクが大きい割にはリターンが少ない。避難効率を上げるためには、避難所を知っている人にしっかりと (高確率で) 付いて行く必要があるが、その際に誰が避難所を知っているかという情報が提示されなければ逆効果になる。これらの結果は、シミュレーションの設定に大きく依存するものではあるが、ある程度の大局的な傾向は示しているものと思われる。

4. まとめ

災害シミュレーションシステム IDSS は、地理分割により大規模なシミュレーションを行なう仕組みを備えている。我々は、このシステムを用い、市民の避難行動のシミュレーションを行ない、避難効率を向上させるためには、災害時の情報交換、発信などのインタラクションの必要性を示唆する結果を得た。今回は 100 人の市民のシミュレーションを行なったが、今後、順次、より多くのエージェントを扱う複雑なシミュレーションに挑戦して行く予定である。

参考文献

- [1] Toru Ishida, "Q: A Scenario Description Language for Interactive Agents", IEEE Computer, Vol.35, No.10, pages.54-59, 2002.
- [2] Yohei Murakami, Toru Ishida, Tomoyuki Kawasoe, Reiko Hishiyama, "Scenario Description for Multi-Agent Simulation", Proceedings of the Second International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, pages.369-376, July 2003.
- [3] Yohei Murakami, Kazuhisa Minami, Tomoyuki Kawasoe, Toru Ishida, "Multi-Agent Simulation for Crisis Management", IEEE International Workshop on Knowledge Media Networking, pages.135-139, 2002.
- [4] Itsuki Noda, Michinori Hatayama, "Common Frameworks of Networking and Information-Sharing for Advanced Rescue Systems", Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics 2004 (RO-BIO2004) paper no. 324, August 2004.

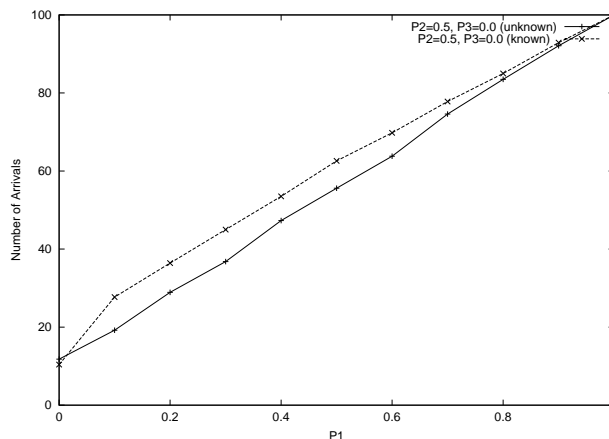


図 6: 避難所を知っている人の割合に対する避難効率の変化

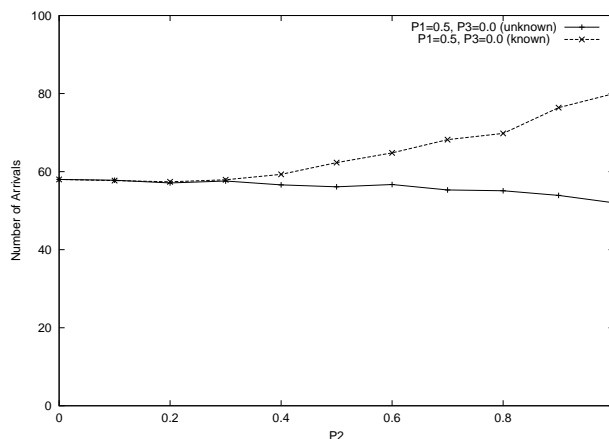


図 7: 他人に追従する確率に対する避難効率の変化

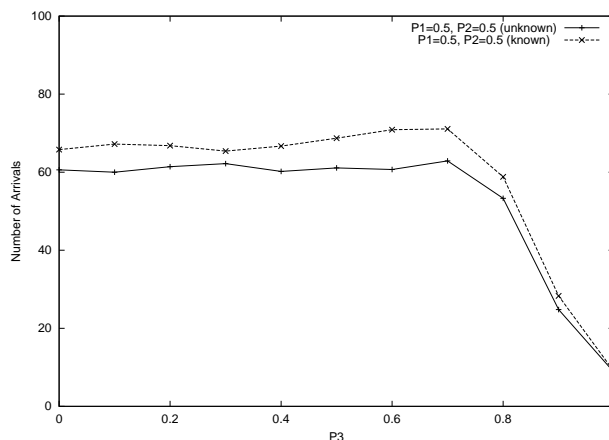


図 8: 他人を待つ確率に対する避難効率の変化