

災害救助のゲーミング —ロボカップレスキュー プロジェクト—

松原 仁

公立ほこだて未来大学
システム情報科学部 情報アーキテクチャ学科
matsubar@fun.ac.jp

田所 諭

神戸大学 工学部
tadokoro@cs.kobe-u.ac.jp



ロボカップレスキューは災害救助に情報処理技術を活用しようというプロジェクトである。その中のシミュレーションプロジェクトでは、包括的災害救助シミュレータ上で防災活動を行う自律知能エージェントを開発してゲームによってその優劣を競っている。ここでは災害救助をどのようにゲーム化しているか、プロジェクトをどのように進めているかについて述べる。

はじめに

ロボカップレスキューとは、情報科学、人工知能、ロボット工学などの最先端の技術を用いて、緊急災害救助という問題に貢献しようというプロジェクトである¹⁾。ロボカップレスキューにはいくつかのサブプロジェクトが存在するが、ここでは焦点をシミュレーションのプロジェクトに絞り、このプロジェクトの特徴として、災害救助という対象をいかにゲーム化するか、自然発生的に集まった研究者によってどのように研究開発が進められているか、について説明する。ロボカップレスキュー全体については本誌2000年4月号に解説が掲載されている²⁾ので、そちらを参照していただきたい。本稿では文献²⁾に書かれていない内容、文献²⁾が書かれた後の進展の内容を中心に述べる。

ロボカップレスキューとは

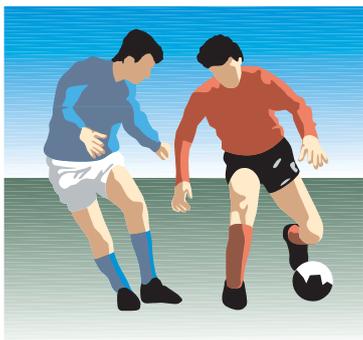
ロボカップとは、自然発生的に研究者が集まって行っている「サッカーをプレイするロボットを作る」プ

ロジェクトである^{3),4)}。チェスに続くべき情報処理技術のランドマークプロジェクトとして日本から世界に向けて提案し、1997年から毎年国際大会が開催されている(2002年は6月に福岡ドームで開かれる)。このプロジェクトの目標は「2050年までに完全自律型のヒューマノイドロボットがワールドカップのチャンピオンに勝利を収める」ことであるが、この目標はあくまでプロジェクトの分かりやすさを示そうとしたもので、実際はサッカーをプレイするロボットを作ることを通じて21世紀のための新しい情報処理技術を発展させることを目指している。サッカーの応用の1つが、災害救助への情報処理技術の適用を目指したロボカップレスキューである。阪神淡路大震災の災害救助に対して情報科学、人工知能、ロボット工学がほとんど貢献できなかったという反省を原点としてこのプロジェクトも日本から始まった。大きく分けて、「ロボティクス&インフラストラクチャプロジェクト」と「シミュレーションプロジェクト」の2つに分かれる。前者は、実際のレスキューロボットを開発し、災害に対して頑強な都市にするための社会インフラを整備し、災害救助の場で人間の行動を支援するための情報機器を開発する。後者

は包括的災害救助シミュレータの中で防災活動を行う自律知能エージェントを開発する。ロボカップの大会では両者に対応するレスキュー実機リーグとレスキューシミュレーションリーグが2001年から開催されている。

ロボカップ本体はサッカーというゲームを対象としているのに対し、レスキューは人命や資産を対象としている。ロボカップレスキューはややもすると不真面目なものと真面目なことを結びつけたように見えるかもしれないが、ロボカップで成功しつつある方法論をレスキューに適用してその研究を促進しようというものである。「サッカーをプレイするロボットを作る」ことも最初はさんざん否定的な評価を受けた。一方の見方は、ロボカップは単なるロボコンの一種で一人前の研究者がかかわるに値しないというものであった。しかしサッカーをうまくプレイするロボットを作るためにはロボット工学の最先端の研究課題を解く必要があることが分かってきた。もう一方の見方は、現在の人工知能とロボット工学の技術水準からするとロボカップは時期尚早であり、もっと個々の要素技術の研究に取り組むべきだというものであった。確かにロボカップの初期の大会ではまともに動けないロボットが多かったが、年を経るにしたがってロボットの動きは非常に良くなってきている。最初は難しすぎるように見える目標でも、それが具体的で興味深い目標であれば、目標を掲げることによって研究が促進されるということが分かってきた。

従来の大きなプロジェクトは、少数の管理者が莫大な研究費と人件費を握って、その力を背景にして研究を統括して進めるという形を取っている。ロボカップは誰でも自由に加わったり抜けたりできるが、加わっても特に研究費や人件費がもらえるわけではない。誰もがボランティアとしてロボカップに加わっている（研究費や人件費は各自がその甲斐性で稼ぐのが原則である）。リーダーは民主的に選ばれ、すべては合議によ



って決定される（リーダーは権力者ではなく、貢献の多いボランティアという位置付けである）。そのような草の根プロジェクトにかかわらず、ロボカップにはいまや世界中から35カ国3000人以上が加わっている。競技会で定期的に人工知能とロボットの技術を客観的に比較することができ、技術交流を活発に進めることができるので、最先端の研究課題を効率的に解くための場としてロボカップが研究者に高く評価されているためと考えられる。もっとも、プロジェクトの拘束力が弱いことは、下手をするとプロジェクト全体が変な方向に進む危険をはらんでいる。ロボカップでも、競技会で良い成績を取めると高い評価を得られる（たとえば研究者が良いポジションを得られる）ようになってきたので、勝負にこだわるあまりに研究としての側面をないがしろにする参加者が現れてきている。研究としての側面を重視していることをアピールするために、競技会の表彰式でハイライトを浴びるのは優勝チームではなく、最も優秀な研究開発を行った（優秀な論文を執筆した）チームになっている。幸いいまのところ研究を重視する良心派が大多数を占めているので、ロボカップ全体としては正しい方向に進んでいると考えている。

レスキューすなわち災害救助は、改めて強調するまでもなく、人命がかかっているので社会にとって非常に重要な研究課題である。研究開発の重要性を否定する人は誰もいないが、正直に言えばやや地味で世間の注目を集めにくい。この領域は市場原理に乗らないので、政府や自治体がスポンサーになることが強く期待されるが、社会的に広く認知されない限りは税金の投入はむずかしい。そこでレスキューの研究開発を効率的に行うために、競技会形式にしてロボカップの方法論を用いることにしたのである。

災害救助のゲーミング

ゲーミングというのは世の中の複雑な現象をゲームとして定式化することである。そのゲームをプレイすることにより、ゲームの元となった複雑な現象をシミュレートできるので、経済、政治、都市計画など直接的な解析がむずかしい現象を理解するための方法論として広く用いられている。シミュレーションプロジェクトでは災害救助という現象のゲーミングを行っている。「災害救助のゲーミング」というと、災害救助の現場に登場するさまざまなエージェント（被災者、消防隊員、警察官、災害救助責任者、医者、ボランティアなど）をそれぞれ人間のプレイヤーに割り当てて彼らに災害救助のシミュレーションをしてもらうというの

を思い浮かべるかもしれない。実際、住民をそういうシミュレーションに参加させて災害に対する理解を深めてもらうという活動は存在する。それはそれで意味のあることだが、シミュレーションプロジェクトでのゲーミングは意味が異なる。(現在のところは)災害救助責任者に相当するエージェントプログラムを参加者が作成し、そのプログラムにシミュレータ上の災害現場で救助活動を行わせて、被害状況の大きさによってプログラムの良し悪しを評価する、という形を取っている。被害状況を点数化し、たとえば点数が小さい方が(被害が少ないという意味で)勝ちというゲームとしているのである。

シミュレータは将来的にはさまざまな災害に対応させる予定であるが、現在は地震に限定されている。ある地区(歴史的に阪神淡路大震災が発端となった関係で、神戸市の長田区の一部が最初の舞台として選ばれた)で大きな地震が起きたという設定でシミュレーションが行われる。シミュレーションもSIMCITYのようなおもちゃではなく、実際の地震データに基づいた本物の防災用シミュレータが用いられている。舞台となる地区のGISデータ(本物を用いている)に基づき、

(1) 建物倒壊シミュレータ

地震の地表面加速度分布をもとに実統計データに基づいて各家屋の倒壊確率を求め、それに基づき確定的に倒壊をシミュレートする。

(2) 街路閉塞シミュレータ

地表面加速度分布と建物倒壊状況に応じて街路閉塞幅をシミュレートする。

(3) 火災延焼シミュレータ

建物、街路の特性、建物倒壊状況を反映した燃焼過程、伝搬過程、着火過程、消火過程からなる延焼モデルによって、火災延焼と消火をシミュレートする

(4) 交通流シミュレータ

道路幅員、車線、信号などを考慮したマイクロシミュレーションによって、各エージェントの動きと道路渋滞情報をシミュレートする。

を用いて災害状況をシミュレートする(後で述べるように将来は他のシミュレータ、たとえば液化化シミュレータなどを追加する予定である)。ちなみにこれらのシミュレータは単独ではこれまでも存在したのだが、これらすべてを同時に動かしたのはこのシミュレーションプロジェクトが初めてである。この中に防災エージェントとして消防隊、救助隊、道路啓開隊が存在し、彼らに助けられるべき被災者エージェントが存在する(各エージェントは人間に相当し、見る、直接聞く、直

接話す、通信ラインで聞く、通信ラインで話す、移動するなどの行動を行う。さらにたとえば消防隊は、消火する、消火ホースを延ばすなどの行動も行う)。シミュレーションリーグの参加者は、災害の状況に応じてどのように防災エージェントを動かすかを記したプログラムを作成する。地震発生から72時間後の被害状況を点数化して優劣を競う(「黄金の72時間」という表現があり、災害発生から72時間以内の救助活動がきわめて重要であることがよく知られている)。図-1にシミュレータの一場面を示す。

このゲーミングにおいて大きな議論になっているのが被害状況の点数化の仕組みである。現在は被害状況を、救助された人の数(被災者の数は決まっているので、死亡してしまった人の数と言い換えてもよい)、総被害額(延焼した建物の被害などを金額に置き換える)、防災エージェントの疲労度(同じ結果であれば疲労が少ない方がよいという発想である)の組み合わせで点数化している。人命は尊いが、災害救助責任者(実際は自治体の長であろう)は総合的な判断が要求されるはずなので、人命だけを評価基準とするわけにもいかない。サッカーの評価は得点なので明解であるが、災害救助の評価は実際のもので立場によって変化し得る微妙なものである。この評価基準をどう置くかによってどういうプログラムを書けばいいかが変わってしまう。恣意的なものにならないように慎重に合議を行い、競技会ごとに投票によって評価基準を決めている。現在は決められた評価基準に適合するように人間がエージェントを動かすアルゴリズムを調整している段階であるが、将来は評価基準に自動的に適合するプログラムが開発されるであろう。

ゲームはもともと遊びである。そのため、ゲームという言葉は不真面目な印象を持たれることが(特に日本では)多い。筆者の1人の松原は以前から将棋などゲームを対象とした研究を行ってきたが、ゲームを研究対象とするのはもってのほかであるという非難をしばしば受けてきた(幸いいまは少なくなりつつある。情報処理学会にもゲーム情報学研究会ができています)。サッカーもゲームなので同様の非難を浴びることがある。さらに災害救助のゲーミング(ゲーム化)という、人命のかかわる問題をゲーム扱いするとは不謹慎極まりないという非難を受ける場合がある。すでに述べたようにゲーミングという手法は非常に有効なのだが、ゲームという言葉に悪い印象を持っている人に対しては、あえてゲーミングという言葉を使わずに単にシミュレーションで済ませている。

競技会にしたことにより、参加者が切磋琢磨してプログラムを開発するので、災害救助責任者エージェン

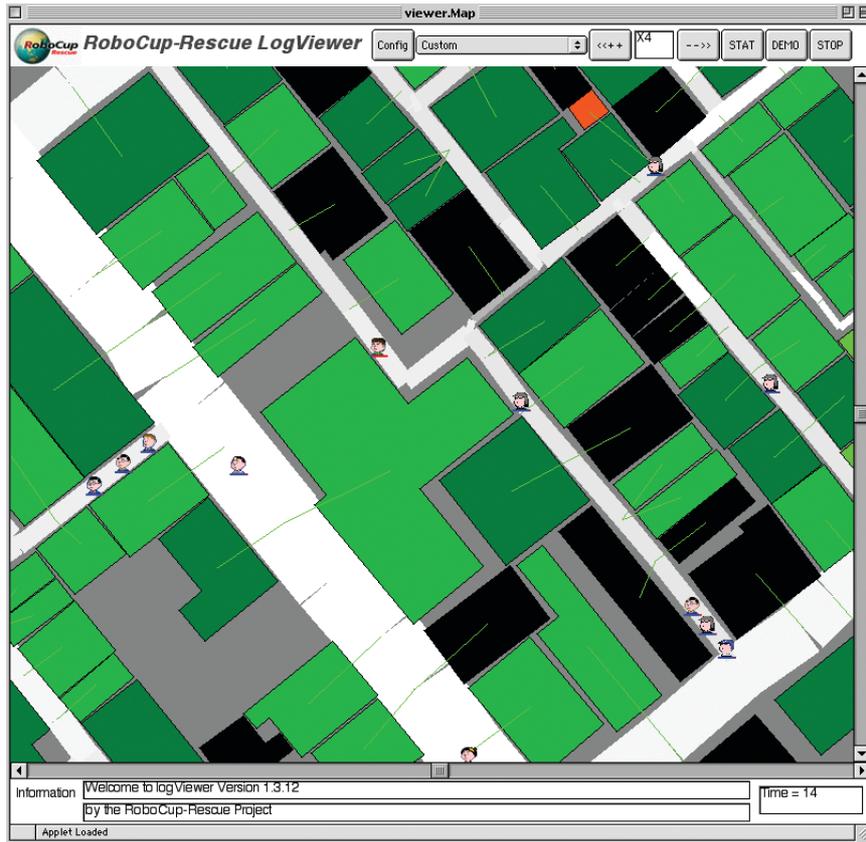


図-1 シミュレータの一場面 (copyright NTTデータ)

トの研究開発が促進されると期待される。まだ国際大会は2001年に1回実施しただけであるが、2000年のデモンストレーションと比較して、

- 1) エージェント間の協調行動
- 2) エージェント移動の知能
- 3) 消火戦略
- 4) 道路啓開戦略
- 5) 救助戦略

などに大きな進歩が見られた。参加者はみな防災には素人であるが、たとえば「消防隊は分散させていくつもの火災現場に向かわせるのではなく、集団としてまず1カ所の火災現場に行かせて消火し、その後で他の火災現場に向かった方が全体の被害は少ない」といった防災のプロが持っている知識を自力で見出すことができた。

啓蒙活動としてのシミュレーションプロジェクト

シミュレーションプロジェクトは、競技会を通じて

優れた災害救助エージェントの研究開発を行うという活動以外にも、自治体と協力してその自治体のためのシミュレータを作成するという活動を進めている。シミュレータの中で起きる地震が実際に起きるかもしれない地震と一致する可能性はほとんどゼロに近いが、何度も繰り返しシミュレートすることにより、どの地区で大きな被害が起きる危険が高いかといった統計的なデータは得られると期待される。また、消防署などの防災エージェントをあらかじめどのように配置しておけば災害救助がうまくいくかをシミュレートすることにより、都市計画にも使えると期待される。

現時点でも有効なのは防災訓練で住民の啓蒙にこのシミュレータを用いることである。いまロボカップレスキューに興味を持ってきている自治体の目的もそこにある。シミュレータの挙動を分かりやすくするために3Dビューアの開発も精力的に進められている(図-2参照)。重要なポイントを見ている人に分かりやすく示すために自動的に視点を変える試みがなされている。また音声によってシミュレータの挙動をリアルタイムで実況するシステムの開発も始められている⁵⁾。

自治体と協力して実際のGISデータを整備するときはいくつかの問題が生じる。まず、そのデータを(どの

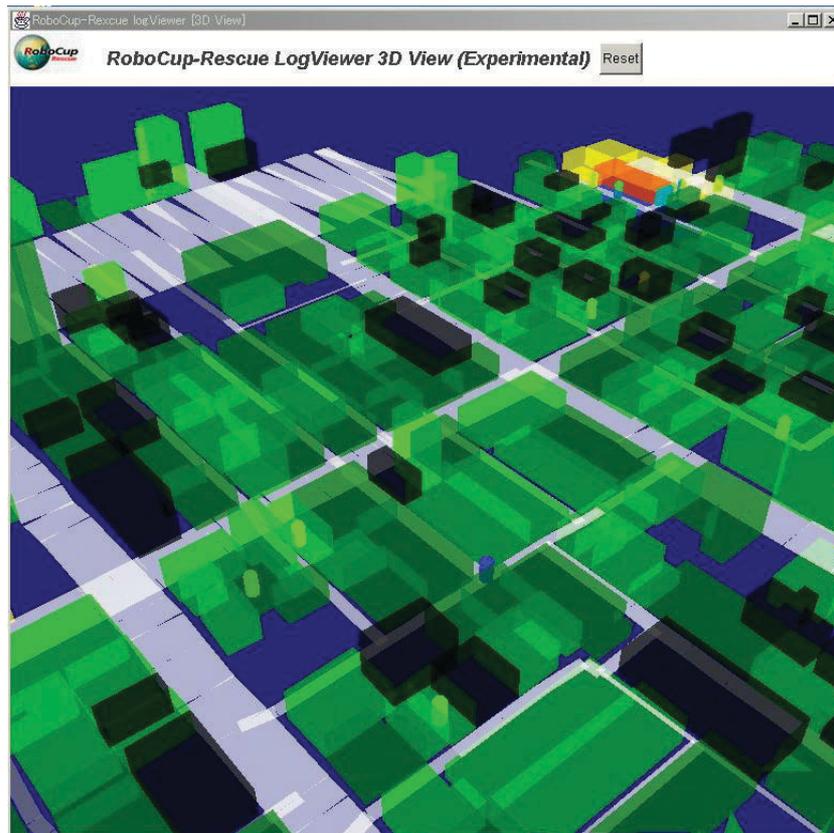


図-2 シミュレータの3Dビューア (NTTデータ 桑田喜隆氏提供)

程度) 公開してよいかということがある。GISデータには建物が何でできているか、築何年かといった情報はいっている。これらは一種のプライバシーに相当する。自治体としてはむやみに公開はできないであろう。また個々のプライバシーの問題を離れても、自治体の危機管理上悪用される危険がないとはいえない。また、実在する場所をシミュレートするので、自分の住んでいるところが延焼しているという場面に遭遇してしまう可能性があり、倫理上好ましくない場合が生じる可能性もある(ビューアはリアルな方がいいと思うかもしれないが、この問題のためにはある程度ぼやけているほうがいい)。従来のGISデータはロボカップレスキューのシミュレータ用に収集されたものではないので、そのままでは使えない場合も多い。精度が悪くて建物が物理的に重なって存在することになってしまっている場合や、建物の材料や築年数の情報が不足している場合(たとえばカーナビ用のGISデータにはこれらの情報は不要である)がある。これらの問題はそれぞれの自治体と話し合って解決策を見出している。

これまでの競技会では神戸市長田区のように実在の場所を用いてきたのだが、上記のように問題が生じる場合もあり得るので、架空の都市(バーチャルシティ)

を作ったそのGISデータを整備するという作業を行っている。今後の競技会ではこのバーチャルマップを用いることが多くなるとされる。自治体と協力して現実のマップを作成して防災に生かすという活動と、バーチャルマップを用いて優れた汎用の救助方法を追求するという活動は今後分離されていくことになる。

新しい研究方法論

前述のようにロボカップレスキューはロボカップにならった草の根プロジェクトである(ロボカップ本体が特定非営利活動法人として活動しているように、ロボカップレスキューも特定非営利活動法人となるべく手続きを進めている)。シミュレータは数十人で検討が行われて仕様が決定され、インプリメンテーションを分担して作成されている。研究者の所属は分散しているので、分散開発が容易のようにシステム設計を行っている。作成されたシステムは一般に無償で公開されている。ロボカップレスキューのシミュレータやそのマニュアルなど公開情報はロボカップの公式ページ <http://www.robocup.org/> からロボカップレスキューのページに行き行って取り出すことができる。

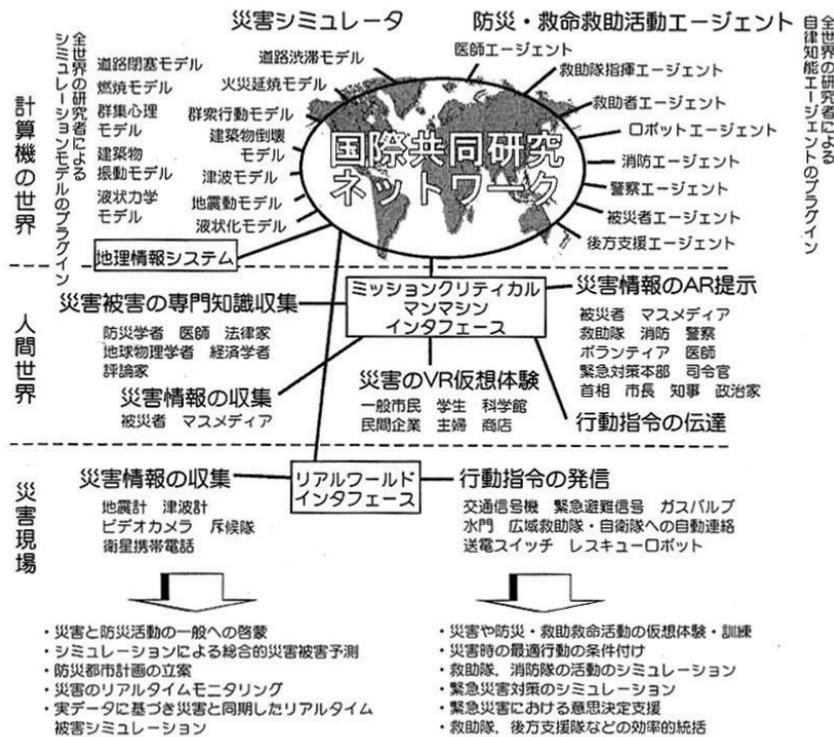


図-3 シミュレーションプロジェクトの全体像

シミュレーションプロジェクトの全体像は図-3に示す通りである。この図はいわば完成予想図でまだできていない部分も多い。オープンアーキテクチャになっており、誰かが新しいシミュレータやエージェントを開発したらそれが容易に組み込めるようになっている。強い拘束力のないプロジェクトで明確な責任が伴わないために下手をするとストップしてしまう危険があるが、これまでのところは非常にうまく進んでいると自己評価している。うまくいっている理由は、ある程度の間隔（現在は1, 2カ月に1回程度）で会合を持ち各人が平等に自由に議論を行い、議論で得られた結論に基づいて各人にかなり自由に意思決定を任せているところにあると分析している。ある期間縁の下の力持ちで裏方の仕事をするのはいいのだが、ずっと裏方では続かない（研究者なので論文なりプログラムなりの成果を出す必要がある）ので、裏方役はローテーションでこなして誰もが日の当たる場所とときどきは出ていけるようにしておくことがこの種のプロジェクトの成功の秘訣だと思う。大学院生がシミュレータの開発の中心を担っているため、彼らに学会発表や論文執筆など学術的に日の当たる場所をできるだけ多く提供することがロボカップレスキューの運営に携わっている我々の側の責務と考えている。

おわりに

本稿ではロボカップレスキューのシミュレーションプロジェクトについて述べた。現在はシミュレータの第1版の作成に向けて関係者で取り組んでいるところである（いま公開されているのは第0版である）。また、いくつかの自治体と協力してそれらの自治体のGISデータを整備している（シミュレータが動くようにしている）ところである。ぜひ多くの方に加わっていただき、近い将来はロボカップ本体のように数千人規模で研究開発を進めていきたいと願っている。

謝辞 本稿はロボカップレスキューにかかわっている約100人の方々の活動に拠っており、彼らに謝意を表す。

参考文献

- 1) 田所 諭, 北野宏明 (監修), RoboCup-Rescue技術委員会: ロボカップレスキューー緊急大規模災害救助への挑戦, 共立出版 (2000).
- 2) 田所 諭, 北野宏明, 高橋友一, 松野文俊, 竹内郁雄, RoboCup-Rescue技術委員会: RoboCup-Rescue 情報科学の緊急災害対応問題への挑戦, 情報処理学会誌, Vol.41, No.4, pp.412-418 (Apr. 2000).
- 3) 松原 仁, 竹内郁雄, 沼田 寛: ロボットの情報学, NTT出版 (2001).
- 4) 松原 仁, 浅田 稔, 北野宏明, 鈴木昭二 (編): ロボカップ特集, 日本ロボット学会誌, Vol.20, No.1, pp.1-50 (2002).
- 5) 松原 仁, 田中久美子, Frank, L., 田所 諭: 大規模災害救助シミュレータを対象としたリアルタイム実況の自動生成, 人工知能学会論文誌, Vol.17, No.2, pp.177-180 (2002).