

RoboCupRescue ヒューマンリーグの設計

高井 朋幸[†] 桑田 喜隆^{††} 竹内 郁雄[†]

RoboCupRescue ヒューマンリーグは RoboCupRescue の司令所に人間がエージェントとして参加して他のエージェントに命令を送り、被害を最小に食い止めることが目的である。本研究では、司令所がエージェントにどのような命令を出し、エージェントがそれをどのように解釈し行動すれば高い成果を上げることができるかを競うためのゲーミング環境を設計し、実装した。その上で実際に数名に体験してもらい、RoboCupRescue ヒューマンリーグが人間やエージェントに与える効果について考察を行った。その結果、RoboCupRescue ヒューマンリーグは防災意識の向上やエージェント開発の手助けとなるゲーミング環境となり得ることわかった。

The design of RoboCupRescue Human League

TOMOYUKI TAKAI,[†] YOSHITAKA KUWATA^{††} and IKUO TAKEUCHI[†]

We designed and implemented a new competition *RoboCupRescue Human League*. The participant plays the role of a commander of *RoboCupRescue simulation*. They must mitigate the damage on the disaster space by sending commands to other agents. The commander who gets the best score wins. *RoboCupRescue Human League* requires the most appropriate command issue and the smartest agents' interpretation. A few subjects played as a FireStation agent and we found out what *RoboCupRescue Human League* effects are brought to the agents and ourselves. *RoboCupRescue Human League* will help us develop *RoboCupRescue simulation* agents and have better disaster prevention.

1. はじめに

RoboCup はサッカーを題材とした実時間分散協調問題の研究のフォーラムである。その目標は 2050 年までに FIFA ワールドカップチャンピオンに勝利を収めるロボットサッカーチームを形成することである。しかし、ワールドカップチャンピオンに勝利することが RoboCup 設立のそもそもの目的ではない。その達成の過程で様々な技術を生み出し、現実の様々な問題への解決に貢献することが本来の目的である。RoboCup はその問題として災害をとりあげ、RoboCupRescue プロジェクトを発足した。

RoboCupRescue には、ロボティクス&インフラストラクチャプロジェクト、シミュレーションプロジェクト、インテグレーションプロジェクト、オペレーションプロジェクトという 4 つのサブプロジェクトがある。本研究ではその中のシミュレーションプロジェクトを扱う。RoboCupRescue シミュレーション¹⁾ (図 1) (以下 RCRS) では、計算機上の仮想災害空間で救急



図 1 RoboCupRescue シミュレータ (C) 森本 (電気通信大学)
Fig. 1 RoboCupRescue Simulator (C) Morimoto
(The University of Electro-Communications)

隊、消防隊、道路啓開隊と各司令所の計 6 種類のエージェントが協調して、災害空間の被害を最小に食い止めることが目的である。

RoboCupRescue ヒューマンリーグ (以下 RCRS-HL) は、上記の RCRS で使用されるエージェントの一部またはすべてを、人間が計算機に代わって行うものであり、人間が他のエージェントにどのような命令

[†] 電気通信大学 情報工学科

The University of Electro- Communications Departments of Computer Science

^{††} (株) NTT データ

NTT DATA CORP.

を出し、エージェントがそれをどのように解釈し行動すれば高い成果を上げることができるかを競うためのゲーミング環境である。本研究ではこの RCRS-HL を設計して実装した。また、被験者に消防司令所として振る舞う評価実験を行い、RCRS-HL が人間やエージェントに与える影響と RCRS-HL の有用性について考察した。

2. RCRS-HL

2.1 関連研究とモチベーション

RCRS-HL は人間が計算機上でシミュレートされる仮想空間に、RCRS のエージェントとして参加するゲーミング環境である。これに似たものとして RoboCup-Soccer シミュレーションリーグにおいて人間が計算機の代わりにサッカーエージェントを行う研究が行われている²⁾。これは、サッカーエージェント 1 人 1 人を異なる開発者が開発し、それを 1 つのチームとして作り上げるプロジェクト OZ³⁾ の異種協調問題を人間にまで広げたものである。OZ-RP は人間を含めた異種協調システムの設計、構築、実験の環境を整えようとしている。OZ-RP では、人間は短い時間で協調行動をとり、状況に応じた役割変更をし、多くのことに学習・適応していることが確認できている。RCRS-HL では RoboCupSoccer シミュレーションリーグと異なり、多種類におよぶ能力の異なるエージェントや司令所を人間が行うので OZ-RP より複雑な異種協調問題を扱うことができる。サッカーと同じように短時間で異種エージェント同士が協調行動をとることができるほか、人間の異種エージェント間での協調行動のロギングとその分析およびモデル構築、エージェントとのコミュニケーション方法、ヒューマンインタフェース、半自動動作の研究など、RCRS-HL には数多くの研究材料が含まれている。

また RCRS-HL は直接的な社会的貢献をもたらす。実際に一般人が RCRS-HL に参加することで災害シミュレーションを気軽に行うことができ、防災意識の向上につなげることができる。また、消防隊員などが RCRS-HL に参加しているプレーヤに災害発生時に取るべき行動を教えた上で、プレーヤに RCRS-HL 上でその行動を疑似体験をさせることで災害時にとるべき行動を確実に学ばせることができる。RCRS-HL を通して得られた知識と経験が将来起こりうる大災害の被害軽減へと役立つ。

2.2 RCRS

RCRS は上で述べたとおり多種類のエージェントが多数活動する、実時間分散シミュレーションシステムであり、災害に伴う様々な現象やエージェントの作用をシミュレートする。シミュレーションは 1 分を最小単位 (ターン) として行われる。

計算機上でシミュレートされる災害空間では、エー

ジェントと市民の負傷と埋没や建物の倒壊、火災の延焼、道路の閉塞と渋滞が発生する。災害空間には様々なプロパティを有するオブジェクトの集合によって表される (表 1)。

オブジェクト	プロパティ
建物	位置、形状、燃焼度、倒壊度
道路	位置、形状、閉塞幅、車線数
人間	位置、生命力、埋没度、負傷度

表 1 主なオブジェクトとプロパティ
Table 1 Objects and properties

エージェントは視覚により半径 10m 以内のオブジェクトの情報を獲得することができ、聴覚により半径 30m 以内の肉声 (SAY) からの情報と、同種のエージェントからの電気通信 (TELL) による情報を得ることができる。それ以外から情報は得ることができないので、エージェントは限られた情報を使って自分の内部情報 (ワールドモデル) をできるだけ正確に構築して、適切な動作を取らなければならない。つまり、エージェントの持つ情報は災害空間全体の完全情報ではなく、災害空間の一部分の情報である。この情報を使ってエージェントは災害空間上で活動を行う。エージェントが取ることでできる動作を表 2 に示す。

RCRS はカーネルに、延焼や交通などをシミュレートするサブシミュレータとビューアとエージェントを接続して行われる⁴⁾ (図 2 左側)。エージェントは毎ターン 表 2 のコマンドをカーネルに送信して災害空間で活動を行う。

2.3 設計方針

まずはじめに人間が参加してエージェントに命令を送信したり、小隊エージェントとして行動をとることができるための最低限の環境を構築した。RCRS-HL は、RCRS に RCRS-HL インタフェースをアドオンする形で構築した。RCRS-HL に参加するプレーヤは RCRS 上のエージェントとして参加する (図 2 右側)。エージェントの行動を決定するときには、RCRS カーネルに RCRS で使用されているコマンドを送る。RCRS を全く変更せずに RCRS-HL を RCRS のア

エージェント	可能な動作 (コマンド)
すべて	TELL, SAY
市民	MOVE
消防隊	MOVE, EXTINGUISH
救急隊	MOVE, RESCUE, LOAD, UNLOAD
道路啓閉隊	MOVE, CLEAR
司令所	TELL, SAY のみ

表 2 エージェントの動作
Table 2 Agent's action

ドオンとして構築するので短期間で簡単にシステムを作り上げることができた。

RCRS-HL に参加するプレイヤーの役割は次の 3 通りのうちの 1 つである。

- 消防隊、救急隊、道路啓開隊のいずれか (小隊エージェント)
- 消防司令所、救急司令所、道路啓開司令所 (司令所エージェント)
- 一般市民 (市民エージェント)

プレイヤーはそれぞれの役割に合った、わかりやすく直感的に操作することができるインターフェースを用いてゲームを行う。

プレイヤーが司令所としてエージェントに命令を出すときは、RCRS の TELL コマンドを通して行う。命令を受け取ったエージェントは命令を実行した後にその結果を、命令を出した司令所宛に TELL コマンドを使用して送信する。司令所はその結果に基づいて自分のワールドモデルを更新し、インターフェースを通してプレイヤーに災害空間の状況を視覚化して知らせる (図 3)。ゲーム中はこのルーチンを繰り返す。

プレイヤーが司令所以外のエージェントとして RCRS-HL に参加している場合は、RCRS のコマンドをそのまま使用して行動をとる。

プレイヤーが司令所として RCRS-HL に参加する場合は、エージェントに対して命令を送信する必要がある。TELL コマンドのデータ部分は整数配列のバイナ

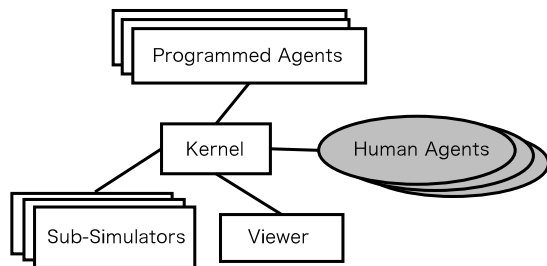


図 2 RCRS-HL の構造

Fig. 2 The structure of RCRS-HL

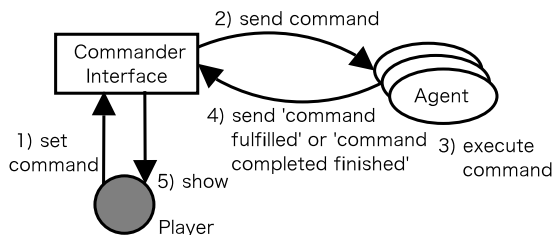


図 3 RCRS-HL の流れ

Fig. 3 Information flow in RCRS-HL

offset(byte)	データの説明
0	メッセージの総サイズ
4	メッセージの発出時刻
8	送信元 ID
12	宛先 ID
16	コマンド名
20	任意のコマンド引数や付加メッセージ

表 3 命令送信仕様

Table 3 Command format

リデータであり、仕様は表 3 の通りである。いつどのエージェントがどのエージェントへ命令やメッセージを送信したのかわかるフォーマットにした。

また、エージェントが司令所から命令を受けると、その命令に対して適当な行動をとらなければならない。エージェントが命令を終了すると、司令所に命令が終了したことを伝えるために返答を行うのが基本ルールである。返答時に送信されるデータも RCRS で使用される TELL コマンドを通して行い、そのデータ部分は司令所がエージェントに出す命令と同様、整数配列のバイナリデータである。

人間の命令を受けるコンピュータエージェントは自律行動を抑え、人間が出した命令を反映することによってゲーム性が高くなるようにした。

ゲームを行う災害空間の広さと、災害空間にいるエージェントの数は何通りかの場合を試行して決定した。また、RCRS-HL に参加するプレイヤーを評価するために、RCRS と異なる新たな評価基準を制定した。

2.4 インタフェース

プレイヤーが使用するインターフェースの外観を 図 4 に示した。以下このインターフェースについて説明していく。

2.4.1 各部の概要

図 4 の中心部は、自分の知っている災害空間の状態を表示している。これを メインビュー と呼ぶ。自分自身は点滅させわかりやすく表示し、情報の更新された時刻が少し前であるエージェントの位置などの信頼性が低い情報は透明度を上げて表示した。矩形領域をドラッグによって指定することでその範囲内にある小隊、司令所エージェントを選択することができ、選択されたエージェントは自分と異なる色で点滅する。この機能は、プレイヤーがエージェントに対する命令を送るときに役立つ。また、オブジェクトをクリックすることでクリックされたオブジェクトの状態を右下のビューから得ることができる。さらにメニューバーの項目から、プレイヤーが選んだ種類のオブジェクトだけを表示させたり、出火状況などの特定のプロパティのみを表示させたり、プレイヤーが指定したエージェントから得た情報のみを表示することもできる。プレイヤーが最も頻繁に注目するインターフェースである。

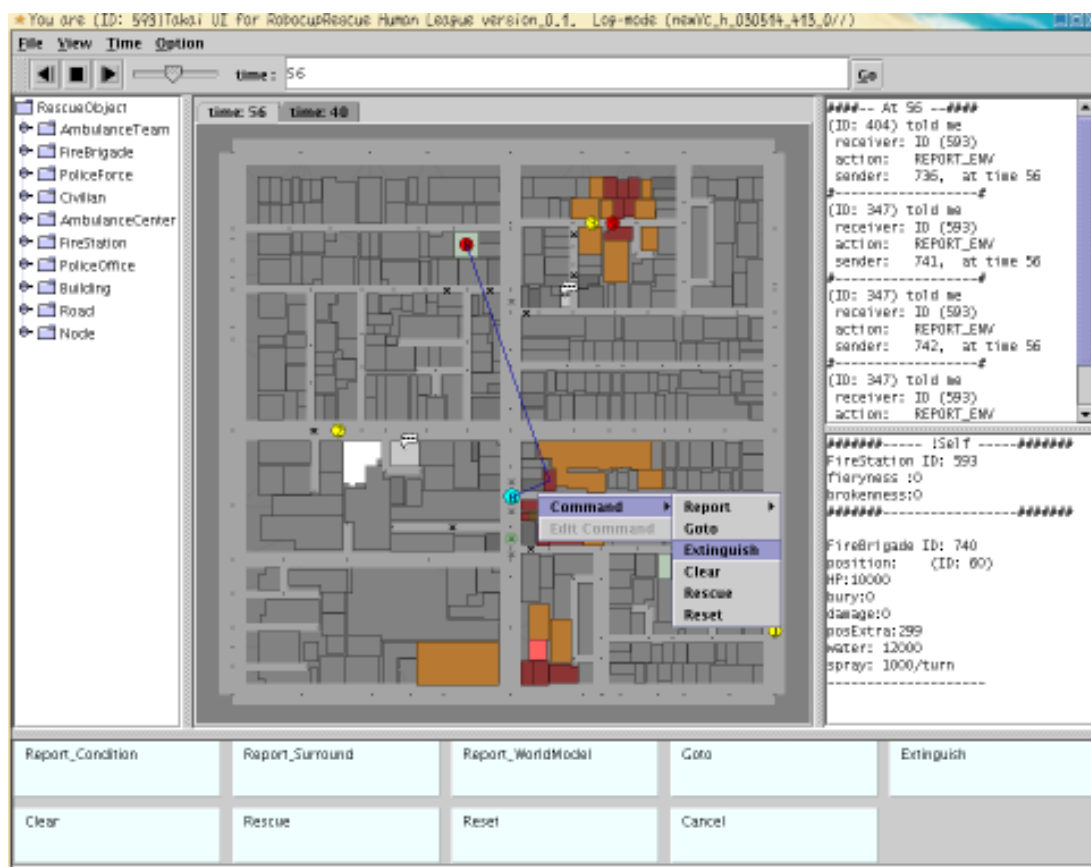


図 4 インタフェース. 消防司令所エージェントとして参加している

Fig. 4 Display for a fire station agent

メインビューはタブを持っており、別のタブで異なる時刻の状況を表示することができる。これを利用すると現在や過去の状況から未来の火災の状況を予測することができる。

図 4 の画面の左はすべてのエージェントと道路、建物などを種類ごとに分け、ID をキーとしオブジェクトを選択することができるツリービューである。選択すると、選択されたオブジェクトがメインビュー上で点滅する。このインタフェースを エージェントツリービュー と呼ぶ。エージェントの種類を選択したり、複数のエージェントを ID に基づいて選択することができる。司令所として参加しているプレーヤは、エージェント全体や道路啓開隊など特定の種類のエージェント全体に対して命令を送りたいときに、このインタフェースを使用する。また、小隊エージェントとして参加しているプレーヤが使用する場合は、ID がどこを示しているかを探するのに使用する。司令所から送られてくる命令には、ID が指定されているためである。

図 4 の右上は自分に届いたメッセージの内容を表示するテキストボックスである。司令所として参加している場合には特に気にする必要はないが、小隊エー

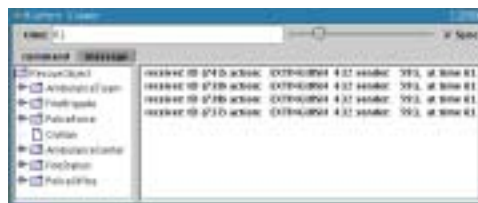


図 5 メッセージビュー

Fig. 5 Message viewer

ジェントとして参加しているプレーヤは毎時確認して自分に命令が出ていないかどうか確認した方がよい。

また任意の時刻の、司令所がエージェントに出した命令とエージェントが受けたメッセージは、メッセージビュー (図 5) インタフェースで確認することができる。これは、命令の回数やどのような命令をエージェントに出したのかを判断したり、ログを再生しているときに命令の状況から特定の時刻を検索するのに有効である。

図 4 の右下は自分と選択されたオブジェクトの状態を表示するテキストボックスである。エージェントツリービューやメインビューで選択されたオブジェクト

の、ワールドモデル内での情報が表示される。このインタフェースは、救急隊エージェントとして参加しているプレーヤが、埋没したエージェントを救出する際にエージェントの埋没の度合いを見るときや、ログ再生時にユーザがオブジェクトの状況を見るときに重要な役割を果たす。

図4下は司令所がエージェントに出す命令や、小隊エージェントや市民エージェントがとるべき行動の名前が書かれたパネルである。このインタフェースの詳細は次節で説明する。

2.4.2 命令と行動の送信

司令所として参加しているプレーヤは2通りの方法でエージェントに命令を送ることができる。

1つ目はコンテキストメニューを使用する。エージェントツリービューやメインビューから命令を送る対象を選択した後、右クリックによりコンテキストメニューを出す。プレーヤはコンテキストメニューから適当な命令を選択し、必要な場合は命令に対する目的地を指定する(図4中心)。目的地の指定時には、マウスカーソルの形が変わる。選択するエージェントをその種類やIDによって指定したい場合に有効なインタフェースである。また、プレーヤがこのインタフェースを使用すると、ギャラリーはプレーヤがエージェントに出している命令が何であるかを理解しやすい。

もう一方はインタフェース下部にある命令パネルを使用する。命令を送りたいエージェントを選択し、GOTO、REPORT など命令名のついたパネルをメインビュー上にドラッグ&ドロップすることで命令を出す。GOTO、EXTINGUISH、CLEAR、RESCUEのように命令に対して場所を指定する必要があるコマンドは、ドロップを指定する場所上で行えばよい。場所を指定する必要のない命令を出す場合は、メインビュー上のどこでドロップしてもよい。これはプレーヤにとって直感的に素早く命令を送ることができるインタフェースである。

小隊エージェントや市民エージェントとして参加しているプレーヤのインタフェースは、司令所がエージェントに命令を出すインタフェースと同様である。下部にある行動パネルをドラッグしメインビュー上のドロップした場所によって、消火したい建物、行きたい場所、啓開したい道路、救助する場所を指定する。

2.4.3 フィードバック

司令所として参加したプレーヤがエージェントに命令を出すと、どのエージェントにどの命令が出されたかをメインビュー上に表示する。例えば図4中央部にあるように、消防隊に指定した建物に対して消火を行うように命令した場合、命令を受けた消防隊と消火すべき建物は青い線で結ばれる。道路啓開隊に対しては啓開すべき道路と黄色い線で結ばれる。命令の表示は、一定時間が経過するか、エージェントの動作が、完了または失敗したという報告を受けるまで表示される。

そのため、エージェントからなにも出ていないときはそのエージェントに命令を出していない状態ということになり、プレーヤはそのエージェントを探すことで命令を指定していないエージェントをすぐに見つけることができる。

司令所と小隊エージェント両方ともに誰かからメッセージを受けたとき(TELL や SAY コマンド)は、メッセージの発信者が自分のワールドモデル上に存在している場合には、その上に吹き出しが出て、発信があったことがプレーヤに伝えられる(図4メインビュー中央やや左と中央やや右)。

2.5 命 令

司令所がエージェントに出す命令とその返信を表4に示す。プレーヤは災害空間の被害を最小限に食い止めるように計画を立て、毎ターン命令のうちの1つ(REPORT は複数送信できる)を送りエージェントがとるべき行動を伝える。

その他、エージェント間通信を行うためにAA_COMMUNICATE という特殊命令もある。消防隊が道路の閉塞を発見したときに、道路啓開隊へその道路を啓開するように要請するときなど、小隊エージェント同士の通信を行うために使用する。ただし、RCRSの制約により直接の通信は行われず、司令所経由となる。

3. コンピュータエージェント

RCRS-HL上で動作するコンピュータエージェント(この節では以下エージェントと表記する)は、司令所である人間の命令を的確に解釈して行動しなければならない。命令を聞くだけで自分に命令が出ていないときには何もなかったり、水がないのに命令が出ないので給水に行かないというエージェントというのは論外である。その上でゲーム性の向上も必要である。以上のことを考慮してプレーヤの命令に基づいて動作するエージェントを作成した。

エージェントは yabapi⁵⁾ をベースに作成した。命令がないときにはエージェントは自分の判断のみで動き、命令があるときは必ず命令に従う(図6)。以下では各エージェントの説明をする。

3.1 消 防 隊

命令が存在しないときは自分に最も近い初期火災を消火する。火災がないと判断したときには避難所で休息を取る。命令が出ているときは命令に従うが、タンクに入っている水の量が放水量に満たないときは命令を無視して避難所へ給水しに行く。命令を実行中に新たな命令が届いた場合には、現在行っている命令を破棄して新たな命令を実行する。新たな命令が終了しても前の命令は実行しない。過去に行っていた命令を再開しても、火災の規模が大きくなり効率が悪く、現状

命令	意味
HA_GOTO	指定された場所 (ID) へ行け
HA_EXTINGUISH	指定された建物 (ID) を消火せよ
HA_CLEAR	指定された道路 (ID) を啓開せよ
HA_RESCUE	指定された建物 (ID) にいるエージェントを救助せよ
HA_REPORT	状況を報告せよ
HA_CANCEL	今までに出した命令をキャンセル
AH_GOTO	指定場所への GOTO 命令の完了
AH_GOTO_BLOCKED	指定場所への GOTO 命令の失敗
AH_EXTINGUISH	指定された建物の消火完了
AH_EXTINGUISH_BLOCKED	指定された建物の消火失敗
AH_CLEAR	指定された道路の啓開完了
AH_CLEAR_BLOCKED	指定された道路の啓開失敗
AH_RESCUE	指定された場所での救助完了
AH_RESCUE_BLOCKED	指定された場所での救助失敗
AH_REPORT_STAT	自分のいる位置と生命力をレポート
AH_REPORT_ENV	自分を含めた周囲の状況をレポート
AH_REPORT_HISTORY	自分のワールドモデルをレポート

表 4 司令所の命令とエージェントの返信. 上が司令所の命令で下がエージェントからの返信

Table 4 Commands (upper) and replies (lower)

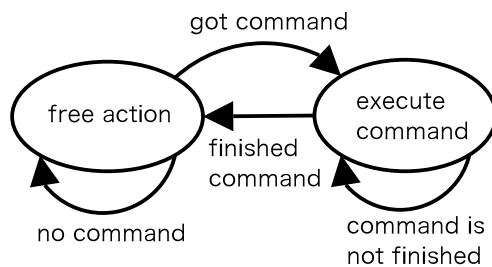


図 6 エージェントの基本行動

Fig. 6 Standard agent's action

より好転する可能性はほとんどないばかりか、悪化する可能性が高いためである。

3.2 救急隊

命令が存在しないときは自分の行ったことのない場所を巡回して埋没しているエージェントを探し、埋没しているエージェントがいるときは救出する。命令が存在する場合は命令に従う。命令実行中に他の命令が来た場合は、その命令を先に実行し、終了したら前の命令を再実行する。

3.3 道路啓開隊

命令が存在しないときは自分の行ったことのない道路を巡回して閉塞している場所を探し、閉塞している道路があれば啓開する。命令があるときは命令に従い、命令実行中に他の命令が来た場合は、救急隊と同じくその命令を先に実行し、終了したら前の命令を再実行する。

3.4 司令所

司令所は送られてきた TELL コマンド内のメッセージを他の司令所と自分の管轄下にあるエージェントに送る。メッセージの中継役になる。

4. 評価基準と競技方法

ゲームを行う災害空間と評価基準はゲームの質を決定する重要な要素である。

4.1 評価基準

RCRS-HL を通じてのゲーム性や防災意識の向上のためには RCRS の評価基準とは異なるプレイヤーへの評価基準が必要である。現在の RCRS の評価基準は生存者数と延焼面積のみで評価を行っている。これでは消防司令所として参加したプレイヤーや、道路啓開隊として参加したプレイヤーに対する評価としては適切ではない。そこで、RCRS-HL では参加者の役割に適した評価基準を設けた。本研究では消防司令所に対する評価を考案した。

消防司令所として参加したプレイヤーには、市民の犠牲者よりも火災の延焼や消火の成功に重点を置くべきであるので、終了時の延焼面積 ($S(b)$) と消火完了面積 ($S(e)$) と延焼中の面積 ($S(f)$) とすべての建物の面積 ($S(a)$) を使い式 (1) で得点 (P) を算出する。

$$P = 2.0 - \frac{1.1S(b) + 1.3S(f) - S(e)}{S(a)} \quad (1)$$

得点の高いプレイヤーが良い評価を受ける。

4.2 ゲームを行う災害空間

RCRS では災害空間上のエージェントの初期位置と火災の出火地点と道路の閉塞状況を決めた上でシミュレーションを行う。ただし、エージェントにその初期情報が知らされることはない。RCRS-HL でも同様に災害空間の初期状態を用意し、その災害空間上でゲームを行う。

災害空間に重要な要素は、広さ、エージェントの数、火災の初期状態である。災害空間が広すぎると、そこに存在するオブジェクトやエージェントの数が多すぎ、プレイヤーが災害空間の状態を把握することが困難になる。そのためコマンドを発行するまでの制限時間を長くしなくてはならなくなりプレー時間が長くなる。逆に狭すぎると、災害空間上に存在するエージェントやオブジェクトの数が減り災害の規模が小さくプレイヤーが司令所として参加している実感を得られない。そ

被験者	得点 (RCRS)	得点 (RCRS-HL)	終了時に延焼中	延焼した	消火	消火率 (%)
A	27.46203	1.58759	1463391	1970293	215897	10.9576
B	27.45329	1.58838	1472234	1988520	254802	12.8136
C	28.70558	1.64775	1290698	1571017	114395	7.28159
人間なし	28.55725	1.61634	1377219	2020291	427484	21.1595
GOTO のみ	27.44956	1.74861	897725	1363191	317356	23.2804
完全情報	30.94555	1.99883	0	109703	109703	100.000

表 5 実験結果
Table 5 Result

ここで RCRS で使用しているすべての災害空間を使って、適切な広さの災害空間を調べた。その結果 Virtual City 1/4 (図 4 メインビューの災害空間) が適切であったので採用した。

エージェントの適切な数と火災の初期状態には密接な関係がある。消防隊に対して出火点が多すぎるとプレーヤが最適な命令を出しても延焼を食い止めることはできず、出火点が少なすぎるとプレーヤが全く命令を出さなくてもすべての出火点を消火することができず。出火点の数が適切でも出火点の場所によっては上記 2 点と同様の状態になりかねない。そのため、プレーヤが出す命令に対して大きなフィードバックが得られるように出火点とエージェントの数を調整しなくてはならない。以上を考慮した上で出火点とエージェント数のパターンを作り検証を行った。その結果、出火点は離れた位置に 3 つで消防隊 5、救急隊 1、道路啓開隊 3 という組み合わせが最適であったので採用した。

時間はシミュレーション時間で 120 分 (120 ターン) 行い、1 ターンを実時間の 5 秒とする。120 ターンまで進行すると、災害空間が大火災になるか鎮火されて落ち着くかを判断することができる。また、プレーヤの集中力を持続させるのもこの程度が適切である上、1 ターン 5 秒という時間は緊張感を出すのにちょうど良い時間である。

5. 評価

設計・実装したインターフェースを使い、被験者 3 名に対し消防司令所として振る舞う評価実験を行った。実験に使用した災害空間は前節で述べた通り、災害空間は Virtual City 1/4 で、エージェントは消防隊 5、救急隊 1、道路啓開隊 3 である。火災の出火点は 3 点で、各々の距離が離れている。被験者は 1 名が RCRS 経験者で、残り 2 名は RCRS を全く知らなかった。実験結果を表 5 に示す。延焼状況のデータは建物の面積で単位は mm^2 で、消火率は消火した建物の面積を延焼した建物の面積で割った値である。また、参考に人間が参加していない場合 (人間なし) と、完全情報を使ってエージェントに指令を出した場合 (完全情報) と、EXTINGUISH 命令を出さずに GOTO 命令

だけを使用した場合 (GOTO のみ) の実験結果も下部に示した。

RCRS を全く知らない被験者は、インターフェースの使用法がわからず戸惑っていたが、すぐに使用法を理解し自分の思い通りのエージェントに命令を出していた。しかし、火災の規模が大きくなりあせり出すと、エージェントの位置を誤認したり、火災の延焼状態を予測できなかったり、不要な命令を数多く出したりして、最後にはなにもできなくなり硬直した。このことにより被験者は実際の災害時の混乱具合を体験することができたと考えられる。また、EXTINGUISH 命令の出し方がその場しのぎで、消火の効率が悪くなってしまった。しかし、被験者に RCRS 経験者のアドバイスを与えたところ、被験者は消火方法を理解し、実践することができ、消火の効率も向上した。RCRS-HL がプレーヤに消火方法を理解させる手助けをしたと考えられる。被験者は実験を通して消防司令所の大変さも理解することができた。

RCRS 経験者はインターフェースの使用法を理解すると、火災の延焼を予測し、的確な命令をエージェントに与えていた。被験者は、RCRS エージェントの一部となったことで、エージェントの立場を理解できた。この経験は、今後被験者が卒業研究などで行うエージェント開発に役立つと思われる。

実験結果をみると、人間がエージェントに命令を出さないほうが良いことがわかる。これは、プレーヤが RCRS-HL に慣れていないことと、人間が古い情報を使用して命令を出していることが原因である。消防隊は火災現場のそばにいた場合、初期火災が起きると命令がなかった場合は初期火災を優先的に消火する。しかし、人間が命令を出している場合はその命令が終了するまでは指定された建物の火災を消火することになる。そのため、初期火災がおきても早い内に消すことはできない。たとえプレーヤが初期火災に気づいて、それを消火するように命令を出したとしても、火災情報を得るのに 2 ターン、消火命令を出すのに 1 ターン、消防隊が消火命令を受け取り現場へ行くのに 1 ターン、合計 4 ターン (現実の 4 分) は必要となるので、命令は 4 分前の状況に対して出すことになる。初期火災をプレーヤが認識してから命令を出してもすでに火災の規模は大きくなっている。命令がない場合、エー

ジェントの行動は自分の判断にゆだねられるので、実時間に応じた状況で判断し行動することができる。

そこで消防隊に対して EXTINGUISH 命令を出さない代わりに GOTO 命令で火災の傍へいかせるパターンを実験した。この実験では GOTO のみの得点のほうが人間なしの得点より良くなった。これは、火災の傍へエージェントを行かせる命令だけを出したことで、適切な初期消火を行うことができたためである。火災は出火点からほぼ円状に燃え広がり、一度消火が完了した建物に再び火がつくことはない。そのため、円状に燃え広がった初期火災をすべて消火することで防火壁を作り出すことができる。プレイヤーが消防隊を防火壁を作ることができる場所へ行かせた上で、後の行動は現場にいる消防隊の判断にまかせれば、初期火災を多く消して効率よく防火壁を作り出し、火災の延焼を抑えることができる。つまり RCRS-HL で最良の評価を得るには、プレイヤーが EXTINGUISH 命令を出さずに GOTO 命令で消防隊を火災の傍に行かせ、その後の行動は現場に着いた消防隊の判断にまかせればよい。

この実験により、現在の RCRS-HL の設定ではエージェントを災害空間のどこへ行かせるかさえ指示できれば良いことが実証された。

6. まとめと今後の課題

本論文では RCRS のエージェントを計算機の代わりに人間が行いその手腕を競うゲーミング環境 RCRS-HL を提案、実装し評価した。その結果 RCRS-HL は災害の疑似体験の一環となり、参加者は災害対策の大変さやその方法を学ぶことができ、防災意識の向上に貢献できることがわかった。また、RCRS エージェント開発者にはエージェントの視点で災害空間に立ったことで、これまでと異なる新しい観点でエージェントを開発することができるようになった。さらに RCRS のエージェントをこれから開発しようとする人に RCRS-HL を体験させれば、RCRS を効率よく理解させることができる。

今後の課題はたくさんある。命令が具体的で、かつ種類も少なすぎるため GOTO 命令だけを出していればよいという状況が起きてしまった。これを回避するために、臨機応変に対処する命令、指定方向への延焼をくい止める命令など抽象度の高い命令を追加しなくてはならない。また、見栄えやインタフェースを、3D ビューやショートカットキーの組み込みなどにより向上させる必要がある。現在実装されている消防司令所のほかの司令所の実装と小隊エージェントのインタフェースの実装も必要である。その上で、多くの被験者に RCRS-HL に参加してもらい実験を重ねることにより、RCRS-HL の有用性をより明確にしていく必要がある。

一方、司令所動作記述スクリプトや Betty's Brain Interface⁶⁾ のようなインタフェースを導入して司令所エージェントを半自動化することを可能にすることも必要であろう。その環境を使って司令所の競技会を開催したり、司令所がエージェントと通信をするとき、エージェントがどのようなことを司令所に求め、司令所がどのような命令を送れば災害被害軽減に効果を上げることができるかを調べることは意義深い。

参考文献

- 1) 田所 諭, 北野 宏明 (編) : ロボカップレスキュー 大規模災害救助への挑戦, 共立出版 (2000).
- 2) 秋田純一, 西野順二, 久保長徳, 下羅弘樹, 藤墳到 : RoboCup シミュレーションリーグ人間参戦システム OZ-RP の提案, AI チャレンジ研究会第 12 回資料, 人工知能学会 (2001).
- 3) 西野順二, 森下卓哉, 木下修平, 鈴木隆志, 五十嵐治一, 小藤哲彦, 下羅弘樹 : シミュレーションドリームチーム OZ の挑戦 The dream team OZ for the RoboCup simulation league, 人工知能学会 AI チャレンジ研究会 (第 9 回) 資料, JSAI Technical Report, SIG-Challenge-9909-4(3/21), JSAI Technical Report, SIG-HOT/PPAI-9909, 2000.
- 4) 田所 諭 : ロボカップレスキュー, 日本ロボット学会誌, Vol. 20 No. 1. pp. 20-23 (2002).
- 5) 森本 武資 : マルチエージェントシステムのテストベッドの研究, 電気通信大学修士論文 (2003).
- 6) J.Davis, K.Leelawong, K.Belyne, B.Bodenheimer, G.Biswas, N.Vye, J.Bransford : Intelligent User Interface Design for Teachable Agent Systems, International Conference on Intelligent User Interfaces, January 12-15 (2003).