

RoboCupRescue Simulation における大域的行動判断

京極雅博^{*} , 竹内郁雄[†]

概要

マルチエージェントシステムの大きな課題の一つに不完全情報問題があげられる。分散したエージェントは不完全な情報をもとに、利得の最大化を追求するが、不完全情報はさまざまな問題を引き起こす。その一つにエージェントの判断が局所的、刹那的になりやすいという問題がある。複雑かつ多岐にわたる問題を協調して解決にあたる時、大域的、長期的な行動判断も必要というのが自然な考え方である。本研究では、不完全情報制約下での大域的行動判断を用いた協調を実現する RoboCupRescue Simulation のエージェント開発をおこなった。具体的には、司令所エージェントによる大域的行動判断と現場のエージェントによる個別の柔軟な行動判断の結合を試み、全体としてより効果的な行動判断を実現することを目指し、実装・実験をおこない、その有用性を示した。

Incorporating Global Decision in RoboCupRescue Simulation

Masahiro Kyogoku[‡] , Ikuo Takeuchi[§]

Abstract

Coping with incomplete information is one of the most important problems in multi-agent systems. Each of distributed agents aims at maximum advantage but suffers incomplete information which makes agent's decision making local and short-sighted. Therefore it is necessary to incorporate some global and long-term decision making mechanism for multiple agents to cooperate well with each other against large and complex real-time problems. On the RoboCupRescue Simulation platform, we developed a combination of center agents with global decision making ability and platoon agents that make local but more suitable decision making at their own sites. Our implementation and experiments show that this combination improves the overall performance of the agent team under a severe restriction on information acquisition and communication capacity among agents.

1 はじめに

マルチエージェントに関する問題は数多くの研究課題を含み、これに対処する手法を研究することで現実社会への貢献が期待されている。本研究で扱う RoboCupRescue Simulation (以下、RCRS)[1] は仮想都市空間での災害をシミュレートするものであり、災害対応活動を扱ったマルチエージェントシステムである。大震災が発生し、建物倒壊、市民埋没、道路閉塞、火災延焼など時々刻々と変化する状況に対し、自律行動をする各種災害対応エージェントが災害被害を最低限に抑えるべく活動をおこなう。エージェントは能力の異なる複数種が存在し、個々が持つ不完全情報をもとに行動判断をおこなう。本研究では従来の我々の RCRS

エージェントの行動判断が局所的かつ刹那的であったことに着目し、大域的な行動判断を取り入れたうえで、個々が柔軟な行動判断を試みるにより、従来より効率の良い災害対応活動ができるエージェントの開発に取り組む。

2 研究の目的と方法

本研究の目的は、不完全情報制約下で協調するマルチエージェント問題において、大域的行動判断の有用性を示すことである。そのためにもまず大域的行動判断がおこなえる RCRS エージェントを開発する。大域的行動判断は司令所エージェントがおこなう。司令所は現場のエージェント(小隊エージェント)から情報を集め、整理し、大域的な判断と指示をおこなう。司令所が判断すべきことは全体の被害の抑制を目指した大枠の行動目標である。

しかし、指示を受けた個別の小隊エージェントは司

^{*}電気通信大学 電気通信学研究科情報工学専攻

[†]東京大学 情報理工学系研究科創造情報学専攻

[‡]Department of Computer Science, Graduate School of Electro-Communications, The University of Electro-Communications

[§]Department of Creative Informatics, Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo

令所の指示に強制されることなく柔軟な行動判断をする．不完全情報の制約とエージェント間通信の制約が厳しく，また状況の変化が早いRCRSでは，司令所による詳細な指示は決して有効な手段ではない．だから，現場の詳細な状況に対処するのはあくまでも現場にいる小隊エージェントである．

なお本研究では RoboCup2005 Osaka[2] で採用されたパッケージ RoboCupRescue Simulation Package ver0.48[3] を使用する．

3 研究課題

本研究で扱うRCRSのエージェント開発は以下のような研究課題を持つ．

3.1 エージェント間協調

RCRSでの問題の多くはエージェント単体での解決は難しい．迅速な災害対応には複数のエージェントが協調して問題解決にあたる必要がある．

またRCRSには表1に示すように能力の異なる複数種のエージェントが存在しており，自身の能力で問題解決が不可能な場合には異種エージェント間の協調が必要不可欠である．

表1: エージェントの種類と能力

エージェントの種類	能力
消防隊	移動 消火 通信
救急隊	移動 埋没者救助 運搬 通信
道路啓開隊	移動 道路啓開 通信
各種司令所	通信

3.2 不完全情報

RCRS エージェントに与えられる情報は半径 10m 以内の視覚情報と，情報伝播速度の定められた火災情報，エージェント間通信による情報のみである．火災情報は火災との距離が次式で求められる d 以下のときに認識できる．

$$d = F \times (T - C)$$

F : 火災情報の伝播速度 (本研究では $10[m/cycle]$)

T : 現在時刻

C : 火災が実際に発生した時刻

3.3 エージェント間通信

エージェント間通信には半径 30m 以内に伝わる肉声による通信と，同種エージェント間や司令所同士でやりとりする無線通信の 2 種類がある．無線通信の送受信関係を図 1 に示す．

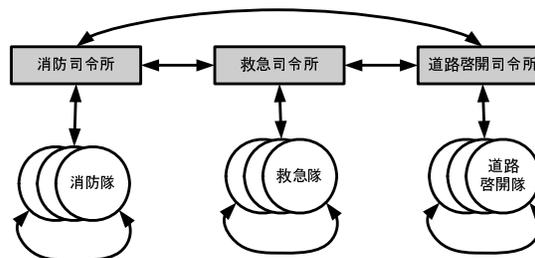


図 1: 無線通信の送受信関係

これらは情報共有や協調の手段として利用可能だが，1 サイクル (現実の 1 分に相当) 当たりの通信回数は小隊 4 回，司令所は小隊数の 2 倍に，1 回当たりの通信量は 256byte に制限されている．例えば消防隊が 10 隊いるとき，半数が 1 サイクルに 1 回の通信をしてしまうと消防隊は全ての通信を受信することができない．この制限は非常に厳しく，全てのエージェントが得られる情報を即時にかつ完全に共有することは不可能である．

4 関連研究

エージェントチーム Impossibles[4] はオークションアルゴリズムにより消火目標を決定している．この際，司令所は通信中継点にすぎないことが本研究と大きく異なる．Caspian [5] は情報共有を徹底したうえであとは優先度の計算のみで消火目標を決定しているが，これは結果的な協調であり意図的な協調であるとはいえない．また ResQFreiburg[6] は消防隊のリーダーを決めることで協調的消火活動をおこなっている．これは半ば強制的な協調であり，強力ではあるが柔軟性に欠ける．例えばリーダーの位置に左右されやすいなどの問題が起こりうる．

Kshitiji[7] は要救助者と避難所の位置から救助対象のグループ化をおこない移動ロスの抑制を狙っている．

本研究では火災をグループ化する点が大きく異なる。Caspian は要救助者への巡回や市民の声を活用した探索などをおこない、被害の最小化を狙っている。特に後者は本研究でもその手法の一部を取り入れる。

また Caspian は WorldModel の改良により履歴情報の充実を図っており、履歴情報の充実と利用が効果的な手法であることを示した。

5 エージェントの実装

YowAI2004 [8] をベースに大域的行動判断可能な司令所エージェントとそれに対応できる小隊エージェントを実装した。

5.1 大域的行動判断に関わる意思決定の流れ

大域的行動判断に関わる意思決定の流れを図 2 に示す。

小隊はまず情報を収集してそれを司令所に通信で伝える。当然、指示が出るまでは小隊は完全に自分の判断で行動判断をおこなう。司令所はある程度情報が集まったら大域的行動判断をくだし、小隊に指示する。情報が入り次第ではなく、ある程度集まるのを待つには二つの理由がある。一つめは大域的な行動判断をするためには、大域的に見て情報が集まらないと意味がないからである。出火点も十分に把握できない火災情報に基づいて指示を出しても、その指示が正確であるはずがない。二つめは大域的な行動判断とその指示は、小隊に長距離移動を要求することが多いことによる。情報が少ない、道路啓開がわずかな時間しかおこなわれていない状況では移動失敗の確率が高い。初期の段階でむやみに大域的行動判断をおこなって指示を出しても、それに従うのはリスクが高く、利益が高くなるとは限らない。

情報がある程度集まったら、司令所は大域的行動判断をくだし、小隊に指示する。小隊は必ずしもその指示に従うとは限らない。さらに、従うか否かの判断材料、ときには判断条件も全ての小隊で同じであるとは限らない。同じ指示を受けた小隊であってもある小隊は指示に従い、またある小隊は従わないこともありうる。

現場で他の小隊の協力が必要である場合には通信を利用して応援要請をする。

また司令所の指示に従わない場合には、司令所に情

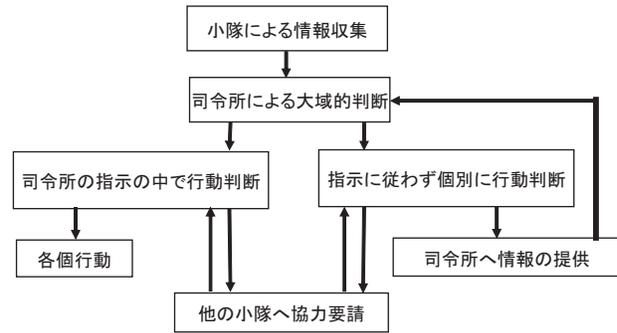


図 2: 大域的行動判断に関わる意思決定の流れ

報を送り、司令所の大域的行動判断の変更を促すこともある。

5.2 司令所の判断

司令所は小隊が収集した情報から大枠の行動目標を判断し指示する。本研究では司令所が同種小隊に対して、ある時刻に一つだけ大域的判断をくだす。現在の RCRS では問題の大きさに対してエージェントの数と能力が不足しがちであり、大枠の目標を複数設けることは必ずしも得策ではない。

消防司令所は、優先して消火すべき火災グループを指示する。判断は消火が容易であるかどうかと、火災被害がどれだけ広がるかで判断する。

また救急司令所は、優先的に救助すべき要救助者を指示する。単独の救助では間に合わない重傷者や、要救助者が近い将来火災に巻き込まれると予想される場合にこの指示がおこなわれる。

道路啓開司令所は大域的行動判断をおこなわない。道路啓開隊を集中させても RCRS では大きな効果が期待できないためだ。道路啓開隊はあらかじめ決めておいた役割分担により道路啓開をおこなう。

5.3 小隊の判断

指示を受けて小隊は個別に行動判断をおこなう。小隊は現場の状況に応じて必ずしも司令所の指示に従うとは限らないし、その判断も個別の小隊ごとに異なる可能性がある。現場で他の小隊の協力が必要な時は、エージェント間通信で協力要請をおこなう。例えば消

防隊，救急隊による道路啓開の要請や，目標の建物まで詳細に指定した集中消火などである．この判断を司令所がおこなわないのは，移動経路確保に関する情報や火災，要救助者の最新情報は現場にいる小隊の方が正確に把握しているためである．小隊は必要があれば随時司令所に情報を送る．司令所は小隊から受けた情報から大枠の行動目標を，目標達成前に変更する場合もある．

5.4 情報の充実

5.4.1 火災のグループ分け

火災情報のグループ化は消防司令所を起点としておこなわれる．全ての小隊は今まで延焼していなかった建物への延焼を発見した場合，司令所に通信をして知らせる．消防司令所はそれまでに集められた情報からその建物が出火点であるか否かを判断する．判断は建物の大きさと距離によって判断する．火災シミュレータが計算している延焼の要因は一つではなく，エージェントにはその計算に用いられている値を全て観測できるわけではない．エージェントが観測できる建物の火災の規模を示すプロパティ `fieryness` と建物の位置関係のみでは延焼の因果関係を正確に測定することは不可能である．

説明の便宜上新たに発見された火災を A ，既に発見された火災を B とする． A と B の距離が次の式で計算される d 以下である場合，その 2 つの火災は同じ火災グループに分類する．なお本研究では w ， s の値は開発者が与えた．

$$d = (\sqrt{A.area()} + \sqrt{B.area()}) \times w + s$$

$A.area()$ ， $B.area()$ ：建物 A ， B の 1 階の床面積
 w ：建物の大きさを考慮する重み
 s ：充分近いと判断する建物間の距離

既存のどの火災グループにも分類されていない火災は出火点として認識され，新しい火災グループを形成する．正確に建物間の距離を計算するのは実時間処理をするのに重すぎるので，シミュレーション開始前に Map 情報を取得した時点であらかじめ計算しておく．また計算を簡易化するため二つの建物が正方形であると仮定している．より正確な距離を計算するには，建

物の形を考慮し，外壁間の距離を計算することも不可能ではないが，シミュレーション開始前の処理に時間がかかる．ルールには明文化されていないが，競技会などではシミュレーション開始前の計算には時間制限が設けられている．また，Map，初期条件などにより延焼の具合も大きく変化するのでどれが最適な値であるとは一概に言えない．

5.4.2 探索地域の分担

広大な災害空間で効率よく情報を収集するには探索地域の分担が効果的である．各小隊は建物の座標を用いて一意に災害空間を分割する．この処理には時間がかかるため，シミュレーション開始時に Map 情報を取得した時点であらかじめ計算しておく．現実においても探索地域があらかじめ分担されていることはよくあると思われる．

5.4.3 埋没者の確認

道路啓開隊が啓開すべき道路もなく，分担地域を探索し終えたら，埋没者情報の精度を高めるために巡回をおこなう．道路啓開司令所は情報の中継に徹する．救助が必要でかつまだ救助されていない対象のうち，その埋没者情報を入手した時刻が一番古いものからその埋没者のもとへ移動して再度情報を入手する．もし埋没者が，優先的に集中救助をおこなう必要があったり，すでに救助手遅れであったりする場合には，道路啓開司令所経由で情報を受け取った救急司令所が判断し，救急隊に通信して知らせる．そうでない場合も最新の情報を共有して，救助対象選択の判断材料として活用する．

5.4.4 鎮火した火災グループに対する警戒

火災グループの建物が全て鎮火，もしくは燃えつきた状態になったとき，その火災グループは一度鎮火したと判断する．

最新の火災シミュレータでは，かなりの高確率で再出火する恐れがある．このとき一番被害が広がるケースは，全ての消防隊が他の火災の消火に向かっていて情報を得るのが遅くなり，再び広範囲に燃え広がることである．

これを防ぐために本研究では少数の消防隊に再出火対策として警戒行動をとらせた．各火災グループに対して一隊の消防隊を警戒担当として割り当てる．再出火の危険ありと判断した場合には司令所の優先する火災グループの指示に従わずに警戒にあたるべき火災グループの周囲を移動してまわる．再出火の危険は燃えつきた建物の有無で判断した．再出火した場合は迅速に消火にあたる．建物は出火してからの時間が短いほど消しやすく，この傾向は再出火にも通用する．また情報が司令所に伝わるため，優先する火災グループが変更される場合もある．さらに全小隊が戻るほどではないが，数隊だけ戻った方がいいと判断した場合は，他の火災グループの消火にあたっている消防隊のうち数隊だけが自身の判断で戻る場合もある．全小隊が戻るのは移動による時間のロスが増大してしまうからである．これは警戒にあたっている消防隊の消防車の水タンクに給水の必要が生まれた場合の対策にもなる．

6 評価手法

大域的行動判断を取り入れたエージェントチームと従来のエージェントチームとの比較実験を行った．大域的行動判断に関わる場所以外の基本スキルは同等である．この際，エージェントのログを読み込み，エージェントの行動を定量的に評価するためのツールとして Debugger for RCRS ver.0.39[9] をベースに RescueScope を開発した．

RescueScope は debugger と異なりシミュレーション時のビューワとしての機能を切捨て，ログアナライザとして特化させた．エージェントの行動を定量的に評価にするデータ計算に加えて，エージェント開発時のデバッグ，複数ログの集計機能，その他行動判断の改良に役立つ機能を実装した．これを図 3 に示す．

7 実験結果と考察

状況の違う 4 種類の Map において大域的行動判断がある場合とない場合での比較実験をおこなった．シミュレーションは再現性がないため，各 Map マップについて 30 回行った．

各 Map の状況を表 2 に示す．各 Map で都市の地形や初期に発生する災害が異なる．例として MapA を図 4 に示す．

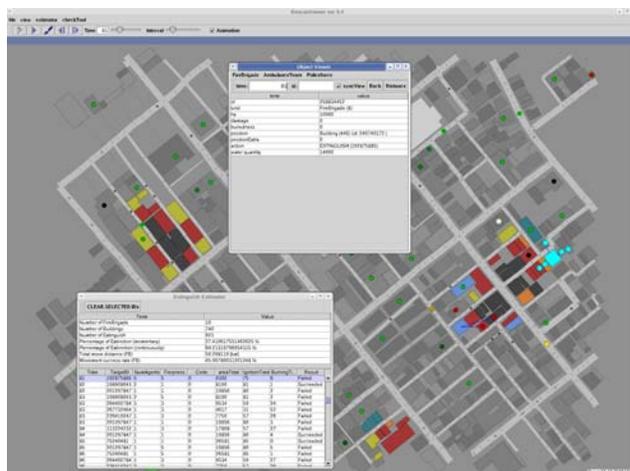


図 3: RescueScope による情報表示

表 2: 各 Map の状況

	MapA	MapB	MapC	MapD
広さ [m.m]	413,417	754,563	960,185	424,317
建物の数	1271	1085	854	740
道路の数	621	1480	910	820
消防隊の数	10	10	12	10
救急隊の数	5	9	7	5
道路啓開隊の数	8	10	2	5
市民の数	61	63	76	70
避難所の数	4	1	2	2
出火数	5	13	3	5
埋没数	53	52	58	48
道路閉塞率 [%]	21.6	9.6	5.6	14.4



図 4: MapA のシミュレーション状況

7.1 MapA

結果を表 3 に示す。

表 3: MapA の実験結果

大域的行動判断	あり		なし	
	平均	SD	平均	SD
スコア	60.4	4.3	50.3	1.9
延焼面積の割合 [%]	0.6	0.2	1.1	1.4
消火成功率 [%]	78.4	7.3	75.0	9.2
消防隊移動距離 [km]	156.4	35.6	143.4	47.8
消防隊移動成功率 [%]	74.7	10.0	64.3	13.0
消火コマンド数	337.4	112.4	415.0	261.4
救助者数	24.4	4.5	14.7	3.4
死亡者数	23.3	4.3	33.3	1.7
救急隊移動距離 [km]	32.1	9.8	25.0	8.1
救急隊移動成功率 [%]	83.2	5.1	69.0	7.5
救助コマンド数	854.9	150.6	605.1	61.3
閉塞道路啓開率 [%]	93.6	9.4	94.6	3.0

注：SD:標準偏差

全 Map の中でもっとも火災消火がしやすい状況での結果である。わずかではあるが大域的判断ありの場合の方が延焼面積を少なく抑えたのは、初期消火に失敗した場合に、大域的行動判断ありの方はある程度の範囲で消火に成功し、大域的行動判断がない場合には効率的に協力できず、火災がより拡大したことによる。火災があまり大規模でなかったため、消火成功率には大きい差は見られなかった。消防隊の移動距離が増加しているのは、司令所の指示により遠くの火災を消火対象にすることが増えたことによるものである。個々の判断で遠距離対象を選択する場合の弊害である、目標変更により無駄に右往左往してしまう問題が緩和され、移動成功率は向上した。消火コマンド数が少なく、なおかつ火災被害を抑えることができたことから効率的な消火活動ができていたと評価できる。

救助においては全 Map で一番大きい差を記録した。火災による埋没者の負傷、これによる集中救助の成否の見込みに狂いが生じなかったため、単独では救助できない市民を救助できたことが大きいといえる。やはり救急隊も初期配置にとらわれず集中する機会が増えたため移動距離は増加したが、やはり無駄な目標変更が減少したため移動成功率は向上した。

道路啓開率に大きな差はなかったが、標準偏差は大域的行動判断ありの方が大きかった。エージェントが集中しやすい傾向があるため、道路啓開要請が災害空

間全体の中での一部に集中したことが原因と思われる。消防、救急の双方において結果が向上したと言える。

7.2 MapB

結果を表 4 に示す。

表 4: MapB の実験結果

大域的行動判断	あり		なし	
	平均	SD	平均	SD
スコア	56.2	2.1	52.0	2.2
延焼面積の割合 [%]	22.2	1.7	27.2	2.7
消火成功率 [%]	57.8	6.8	71.0	2.9
消防隊移動距離 [km]	125.9	21.4	98.1	14.8
消防隊移動成功率 [%]	30.2	3.6	24.7	2.7
消火コマンド数	902.5	60.5	940.7	53.5
救助者数	11.5	2.7	11.9	2.7
死亡者数	28.5	2.0	30.9	2.0
救急隊移動距離 [km]	301.6	57.2	330.2	34.4
救急隊移動成功率 [%]	47.0	9.8	58.5	8.5
救助コマンド数	363.2	66.2	361.3	60.3
閉塞道路啓開率 [%]	84.0	5.0	81.1	5.7

火災に関しては延焼面積を 5 ポイント減少させ、標準偏差を見ても大域的行動判断の方が安定して良い結果を出している。消火成功率が大域的行動判断なしの方が高いのは、手近で消し易い建物をただ消火対象とすることが多かったからである。つまり司令所の指示がある場合には、消しにくくても大域的に見て消すべきであるという建物を目標として選択できていたことになる。消防隊の移動距離が増加したのはやはり司令所の指示により、遠くの目標選択が増加したからである。MapB においても移動成功率は向上しており、無駄な移動目標の選択が減少したことが好結果に結びついている。消火で良い結果が出せたうえに消火コマンド数が減少したのは司令所の指示とあわせた目標選択が適切だったことを示している。

救助者数、死亡者数には大きな差はつかなかった。救助者数は 0.4 減少してしましたが、それでも死亡者数を 2 以上減らすことができた。救助できる数は少なくとも死亡の危険がある対象を優先して救助できたためである。救助者数が減少したのは、集中救助の対象者が埋没する建物が延焼するなどして、対象者の負傷が早まり、救助が間に合わなかったからと考えられる。救急隊の移動距離に大きな差はなかった。大域的行動判断ありの方が標準偏差が大きいのは、集中した救助

活動が失敗に終わるような場合には移動距離が増加するためだと思われる．移動成功率が落ちたのは救急隊の初期配置が道路閉塞に隔てられて分散していたことによる．この Map においては救急司令所が大域的行動判断をくだす時期が適切ではなかった．

道路啓開には大きな差はみられなかった．消防において向上があり，救急において少しの向上があったといえる．

7.3 MapC

結果を表 5 に示す．

表 5: MapC の実験結果

大域的行動判断	あり		なし	
	平均	SD	平均	SD
スコア	49.6	1.8	45.0	3.9
延焼面積の割合 [%]	37.6	2.0	46.4	6.4
消火成功率 [%]	56.5	6.9	54.9	4.8
消防隊移動距離 [km]	69.8	22.6	30.2	6.6
消防隊移動成功率 [%]	47.8	5.5	27.7	4.3
消火コマンド数	1103.6	111.8	1229.6	55.1
救助者数	19.8	2.7	17.4	4.2
死亡者数	34.0	2.2	35.4	2.6
救急隊移動距離 [km]	116.9	26.2	104.5	19.7
救急隊移動成功率 [%]	75.3	4.5	79.4	3.5
救助コマンド数	596.1	69.9	607.9	48.8
閉塞道路啓開率 [%]	95.5	5.4	95.4	4.2

道路啓開隊が少なく消防隊が火災現場に辿り着けないため，もっとも火災が拡大してしまう Map であるが，消防においてもっとも大きな差をつける結果となった．火災が拡大したときの方が大域的行動判断が有効であることを示している．

消火成功率に大差がなく，消火コマンド数が少ないにもかかわらず，延焼面積は 9 ポイント近く抑えることができた．消防隊の移動距離は倍以上に増加したが，これは警戒と再出火消火のための応援により頻繁に移動がおこなわれたからである．移動成功率も増加し司令所による一貫した行動目標の設定が有効であることを示している．

救助においては救助者数が 2.4 増加，死亡者数が 1.3 減少とわずかながらも向上している．差が少ない理由は MapB と同様火災の影響であると考えられる．

道路啓開に大きな差はみられなかった．消防において大幅な向上があり，救助において少しの向上があった．

7.4 MapD

結果を表 6 に示す．

表 6: MapD の実験結果

大域的行動判断	あり		なし	
	平均	SD	平均	SD
スコア	47.0	3.2	42.0	1.9
延焼面積の割合 [%]	35.8	6.9	39.2	3.8
消火成功率 [%]	66.3	4.2	66.3	2.9
消防隊移動距離 [km]	58.7	10.7	44.6	5.7
消防隊移動成功率 [%]	41.7	7.5	29.1	3.7
消火コマンド数	920.1	52.1	1005.4	41.3
救助者数	13.4	1.9	9.9	1.3
死亡者数	31.1	1.9	36.0	1.3
救急隊移動距離 [km]	36.6	5.9	46.0	5.1
救急隊移動成功率 [%]	70.5	5.5	71.1	5.5
救助コマンド数	797.9	68.2	664.6	59.4
閉塞道路啓開率 [%]	85.7	4.6	86.8	4.3

MapD は全 Map の中でもっとも「燃え拡がりやすく単独でもある程度消しやすい」特徴を持つ．大域的行動判断ありの場合が，集中してある火災グループを消火にあたっている間に他の火災グループの被害を拡大させてしまうのに対し，大域的行動判断なしの場合は火災グループを完全鎮火できなくとも分散して消しやすい火を消すことで延焼の拡大を遅らせるという対照的な消火活動が見られた．MapD は比較的，分散した消火活動が有効であったがそれでも平均では 3 ポイント以上延焼面積を抑えている．データにばらつきが大きいのは完全鎮火に少し手間取ると「燃えやすい」特徴により他の火災グループの被害拡大が大きくなりすぎてしまったからである．やはり移動距離は増加したが成功率も向上し，一貫した行動目標の選択がうかがえる．

救助においては死亡者数を 5 近く減少することに成功し，集中救助がある程度うまく機能したことがわかる．大域的行動判断なしでの救助者数は全 Map でもっとも少なく，これは火災の影響で救助に失敗することが多かったからである．司令所の指示により集中的に消火がおこなわれる場合には，自然とその周囲の埋没者情報も集まり，消防と救急の協力が向上した結果であるといえる．

道路啓開に大きな差はみられなかった．消防，救急の双方において結果が向上した．

8 まとめ

8.1 本研究の成果

実験したすべての災害状況において、差の大小はあったものの結果はおおむね向上し、改良に成功したと言える。これにより不完全制約、通信制約のあるマルチエージェント環境において大域的行動判断の有用性を示すことができた。本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- 不完全情報制約、通信制約があるマルチエージェント環境において大域的行動判断が有用である。一貫した行動目標を定めることにより、より効果的な協調行動が実現できる。
- それと同時に大域的行動判断に強制されない個別の柔軟な行動判断も必要である。すなわち、詳細な行動判断はより正確な情報を持つ側に任せるべきである。
- 不完全情報制約下で大域的な行動判断をくだすには情報収集と情報共有が必要不可欠である。

8.2 今後の課題

実験をおこなった大域的行動判断ありの RCRS エージェントチームに関して、大きく分けて三つの改良の余地がある。

一つめは予測能力である。集中救助の計画が狂うのは、火災による被害の加速を正確に認識できなかったことにある。火災の消火も火災の延焼予測ができればより効率が良くなるであろう。不完全情報の制約下で完全情報を得られないなか、これ以上情報の質を向上させるには予測に頼るしかない。予測が正確になれば大域的行動判断で何を優先すべきかがより判断しやすくなる。

二つめには大域的行動判断自体の改良が挙げられる。どの火災グループを優先するのか、どの要救助者を優先するのか、司令所が指示を出しはじめるのはいつからか、などの最適な判断条件は Map により異ってくるため、どう対応していくか考える必要がある。

三つめは建物間の正確な距離関係の処理である。これらはシミュレーション結果をたくさんおこない、オフライン学習をさせるなどの手法を導入することによ

り、特に同一 Map に対しては有用な結果がでるだろうと思われる。ただし、種々の特殊な状況下での行動判断は開発者が自力でコーディングするのが、今のところ有効な手段となっているため、いわば「メタ階層」での改良が必要となる。

参考文献

- [1] RoboCup Rescue Simulation
<http://kaspar.informatik.uni-freiburg.de/~rcr2005/>
- [2] RoboCup 2005 Osaka
<http://www.robocup2005.org/home/>
- [3] RoboCup Rescue Simulation Package Ver0.48 ,
<http://prdownloads.sourceforge.net/roborescue/rescue-0.48.tar.gz>
- [4] J.Habibi , A.Fathi , S.Hassanpour , M.Ghodsi , B.Sadjadi , H.baezi , M.Valipour , Sharif University of Technology Computer Engineering , *Impossibles Team Description* , Feb 2005 .
- [5] Seyed Hamid Hamraz , Seyed Shams Feyzabadi , Amir Khayati Motlagh , Computer Engineering Department , Iran University of Science and Technology , *Caspian RoboCup Rescue Simulation Agent Competition Team Description* , 2005 .
- [6] Alexander Kleiner , Michael Brenner , Tobias Brauer , Christian Dornhege , Moritz Gobelbecker , Mathias Luber , Johann Prediger , Jrog Stuckler , Institute for Computer Science , University of Freiburg , *ResQ Freiburg: Team Description and Evaluation* , 2004 .
- [7] Ramachandra Kota , Ravindranath Jampani , Kamalakar Karlapalem , Center for Data Engineering , International Insitute of Information Technology , *Kshitiji: Team Description* , 2005 .
- [8] Masahiro Kyogoku and Ikuo Takeuchi , Department of Computer Science The University of Electro-Communications , *The Team Descriprion of YowAI2004* , 2004 .
- [9] Debugger for RoboCupRescue Simulation ver0.39
<http://ne.cs.uec.ac.jp/~tomere/rescue/rescue.html>