

RoboCupRescue Simulationにおける協調行動の分析

久保田 恵介¹ 岩田 員典² 伊藤 嘉浩³

概要：災害救助活動は警察や消防など救助行動の対象が異なる救助部隊によって、人命救助や被害を最小限にとどめることを目的とする救助活動である。災害救助では、その対象となる災害によっては救助部隊同士の協力が必要となる。しかしながら、どのように協力すれば良い結果に繋がるのかは複雑であり、明らかでない。そこで本研究では災害救助シミュレーションである RoboCupRescue Simulation を対象として、その実行結果の分析により災害救助における効率の良い協力方法（協調行動）の発見を目指す。

キーワード：マルチエージェントシステム, ロボカップ, 協調行動

Analysis of cooperative action in RoboCupRescue Simulation

KEISUKE KUBOTA¹ KAZUNORI IWATA² NOBUHIRO ITO³

Abstract: The major purpose of disaster relief is to save human life and to prevent secondary disaster. The rescuing teams have different rescuing purpose what belonging to, respectively. When a rescue team suppress a damage of disaster, cooperative action is often required if the scale of the damage is big. However, it is a complicated problem to find an effective combination, flow and so on of cooperative actions for suppressing the damage. In this paper, we aim to find an effective relationship between cooperative actions from analysis of some experiments of RoboCupRescue Simulation, which is one of multi-agent disaster simulation.

Keywords: Multi-agent System, RoboCup, Cooperative action

1. はじめに

近年、世界各地で大規模な自然災害が発生している。RoboCupRescue Simulation（以降、RRS）プロジェクトは、地震災害に関する問題を研究対象とした取り組みである[1]。RRS プロジェクトは災害救助を題材にしたマルチエージェントベンチマークを通して、人工知能やロボティクスなどの研究を促進することや、その成果による社会貢献を目的としている[2]。RRS では都市直下型地震を対象とし、被災者の埋没やビルや一般家屋の火災及び倒壊、それに伴う道路閉塞などが仮想災害空間上に再現され、司令部・災害救助隊を表現するエージェントが災害救助活動をおこなう。

このようなマルチエージェントシステムの研究の 1 つ

に、協調行動に関する研究がある。協調行動とは、複数の自律エージェントが互いに協力した行動のことである。協調行動は様々な分野で研究されており、それぞれの研究分野で様々な定義を持つ[3], [4], [5], [6]。協調行動の改善によりマルチエージェントシステムの効率は改善できるとされているが、協調行動のもつ関係に注目した改善方法や、協調行動そのものの評価方法は大きな課題となっている。

そのような背景の中で、RRS を対象とした協調行動の研究が進められている。H. Siddhartha らは、エージェントの行動結果に注目し、災害救助隊の評価を目指した[7]。また岩田らは、協調行動そのものに注目し、その定式化と定量化をおこなった[8]。しかしながら、どのような協調行動が効率を改善できるかについては未だ明らかになっていない。

そこで本研究では、RRS における救急隊の行動に注目し、効率の良い協調行動の発見を目指す。効率の良い協調

¹ 愛知工業大学大学院経営情報科学研究科

² 愛知大学経営学部

³ 愛知工業大学情報科学部

行動の発見のため、救急隊の持つ救助目的に注目し、本研究で取り扱う協調行動について定義をおこなう。また、定義した協調行動について、エージェントの行動列からの抽出する。そして、抽出した協調行動が救助結果にどのような影響をもたらすのか分析する。

実験では2017年に開催されたRoboCup 2017[9]における、RRSの競技会のログデータを対象に提案手法により分析し、効率の良い協調行動について考察をおこなう。

2. RoboCupRescue Simulation と協調行動

2.1 RRS の概要

RoboCupRescue Simulation（以降、RRS）プロジェクトは、地震災害に関する問題を研究対象とした取り組みである[1]。RRSプロジェクトは災害救助を題材にしたマルチエージェントベンチマークを通して、人工知能やロボティクスなどの研究を促進することや、その成果による社会貢献を目的としている[2]。RRSでは、都市直下型地震発生時の被災都市における災害状況と、その災害を解決する災害救助隊エージェント（以降、災害救助隊）の救助活動、及び市民エージェント（以降、市民）の避難所への避難行動のシミュレーションをおこなう。そして被災都市に対する救助活動の結果や最終的な被災状況などから都市の価値をスコアとして数値化する。また、そのスコアを用いて、救助戦略の評価を目指した競技をおこなう。

RRSは離散事象シミュレーションであり、1シミュレーションステップ（以降、1ステップ）は実際の1分に相当する。1ステップでは市民や災害救助隊の行動をもとに、災害の進行による状態の変化が計算される。災害救助隊は1ステップ毎に情報を認識し、行動を決定することができる。

RRSにおいて、シミュレーションに用いられる都市の情報や災害の規模はシナリオと呼ばれる災害設定ファイルによって与えられる。シナリオには災害の大きさや、市民・エージェントの配置、余震の有無などの設定値が記されている。

2.2 RRS における災害

RRSでは地震災害とそれに起因する2次災害をシミュレーションしている。その一部として、埋没とそれに伴う負傷について説明する。

埋没

埋没は、建物の倒壊により建物内に存在する市民や災害救助隊が生き埋めになる災害である。埋没下市民や災害救助隊（以降、埋没者）は一切の行動が不能になる。また、埋没者は負傷しダメージを負う。埋没の度合いは埋没度（buriedness）で表され、その値が1以上の場合は埋没しているとみなされる。

負傷

負傷は、市民や災害救助隊エージェントが建物の倒壊や火災などに巻き込まれることにより発生する。負傷の度合は負傷度（damage）で表される。負傷したエージェントは1ステップごとに負傷度分だけ体力（hp）を消費させ、体力が0となった時点で負傷者は死亡し、一切の行動・通信ができなくなる。

また負傷した市民は行動が不能になり、その場から移動することができなくなる。災害救助隊についても一定以上体力を消費した場合、同様に行動することができなくなる。

負傷は避難所に避難することで治療される。

2.3 RRS における災害救助隊について

RRSには3種類の災害救助隊エージェントが存在し、それぞれ異なった能力を持つ。災害救助隊エージェントは実際に救助行動をする主体である。災害救助隊はそれぞれ独立した認識をおこなう。認識は自らの仮想都市上の居場所をもとにした視覚情報と、無線や音声によるコミュニケーション情報の2種類が存在する。災害救助隊エージェントはステップ毎に認識を与えられ、そのステップでおこなう行動と、コミュニケーション（通信）内容を決定する。

ここでは、本研究で対象とする救急隊について説明する。救急隊は、救出救命を目的とした救助部隊である。救急隊は埋没者の救出と、市民の搬送をすることができる。救出は埋没度を減少させ、埋没から開放することができる救助行動である。搬送は市民を収容し、別の場所へ移送することができる救助行動である。負傷した市民は一切の行動ができないため、搬送により避難所まで避難させる必要がある。

救急隊が選択可能な行動は次の5つである。救急隊はこれらの行動の中からそのステップでの行動を選択し、前述したような救助行動を取る。なおRescueやLoadで指定する対象は、行動するエージェントと同じ場所に存在する必要がある。

Move 指定した経路で移動する

Rest その場で停止する

Rescue 指定した対象を埋没から救出する

Load 指定した対象の市民を収容する

Unload 収容した市民をその場に下ろす

2.4 協調行動の理論

協調行動はチームワークや組織力などとも呼ばれる、複数の個体が協力した行動のことである。

協調行動に関する研究は、様々な研究分野でおこなわれている。エージェントシステムに関係する協調の理論として、チームワーク理論とCoordination理論を挙げる。

チームワーク理論

チームワーク理論はチームの形成によってマルチエー

ジエントの協調を実現するための理論である。チームワーク理論の基礎として、Joint Intension 理論がある [3]。Joint Intension 理論は、「チームメンバが互いに共通の目標達成を目指して行動する」という共同意図を互いに委託することにより協調行動の実現を目指す。

Joint Intension 理論を発展させたものとして、Joint Responsibility 理論がある [4]。Joint Responsibility 理論は、Joint Intension 理論において、目標達成のために他のエージェントとの協力が必要だと判断した場合に、他のエージェントに協力を要請するものである。

また、マルチエージェントシステムにおけるチーム決定問題を通信に関して拡張したモデルとして、COM-MTDP モデルがある [5]。これはエージェントが環境に対して与えた影響を利得（報酬）とし、その利得が多いほど良いチームワークとするものである。

Coordination 理論

Coordination 理論は「協調・調整・同格」に関する国際的研究である。この理論では「情報技術の広範囲に渡る使用は、人々と一緒に働く方法をどのように変えるか」という疑問に答える助けとなるべく研究されている。

Coordination 理論の定義の 1 つとして「活動感の依存を処理する」とした定義がある [6]。エージェントシステムに関わる「依存」として、「生産者・消費者間の依存」や「タスク・サブタスク間の依存」が考えられる。

2.5 関連研究

Retrospective analysis of Robocup Rescue Simulation Teams[7]

H. Siddhartha らは、RRS において行動結果に注目し災害救助隊の評価を目指し ScoreVector を用いた災害救助隊の能力評価手法を提案した。ScoreVector は災害救助隊の行動結果が他者にもたらす影響を有向グラフとして表現したものである。

しかしながら ScoreVector を用いて評価値を計算するためには、それぞれの矢印に掛かる係数が必要である。結果的に必要な係数が決定しきれず、災害救助隊の正確な評価には至らなかった。

Analysis of Agents' Cooperation in RoboCupRescue Simulation[8]

岩田らは RRS における災害救助隊の部隊ごとの評価を目的として、協調行動の理論を用いて災害救助隊における協調行動のモデル化をおこない、競技会のログデータを用いてその協調の発生回数（協調の値）とスコアとの関係を分析した。

岩田らは協調行動の理論に基づき、RRS の災害救助隊エージェントの協調行動について定義した。

協調 JR_1 あるエージェントが、タスクのサイズが大きいために自分 1 体では解決困難なタスク達成のために

他のエージェントに協力要請（通信）したとき、他のエージェントがそれに応じること

協調 JR_2 あるエージェントが、自分にはない能力が必要なために 1 体では解決困難なタスク達成のために他のエージェントに協力要請（通信）したとき、他のエージェントがそれに応じること

協調 $CMTDP$ 2 体以上のエージェントが必要最低限の通信によって、できるだけ早くタスクを完了させること

協調 CT_1 生産者・消費者間の依存を処理すること

協調 CT_2 タスク・サブタスク間の依存を処理すること
しかしながら、この研究では実験における通信の前提として、毎ステップの行動選択時に協調に関する通信を仮定していた。したがって協調が要請を通しておこなわれたものかどうかの評価はされていない。また、協調によるタスクの処理が達成できたのかどうかについても同様である。

したがって、協調が救助活動の結果にどのような影響・効果を及ぼすのかの分析には至らなかった。

2.6 既存の問題点と研究の目的

協調行動はマルチエージェントシステムにおいて、活発な研究分野の 1 つである。これは協調行動がマルチエージェントシステムのパフォーマンスに直接影響を及ぼすためである。ここでパフォーマンスとは行動過程やその結果、もしくはその行動自体の効率を意味する。これは協調行動の改善によって、マルチエージェントシステムの効率が改善できるということである。

先に述べたように、協調行動によるマルチエージェントシステムの改善には、どのような協調行動が改善に繋がるのかを調べる必要がある。そのために岩田らは RRS を対象として、協調行動の定式化をおこない、協調行動がスコアに及ぼす影響を確かめた。

また Siddhartha らは、RRS における救助行動が他のエージェントに及ぼす影響を考察し、それぞれの災害救助隊がどのような影響をもたらすのかを明らかにした。

しかしながら、協調行動の改善により、マルチエージェントシステムを改善し、より良いパフォーマンスを得るために協調行動に何が必要とされるのかは明らかでない。

そこで本研究では RRS における救助部隊の行動から、協調行動が救助結果にもたらす影響について分析をおこなう。そのために救助部隊が持つ救助目的に注目し、その目的を達成するために必要な行動の流れ（救助行動の過程）と、その達成条件を考察する。そしてその救助行動の過程から、必要とされる協調行動を定義する。また、行動の内容から協調行動を抽出する手法を提案する。

そして競技のログデータから協調行動を抽出し、協調行動がどのような結果をもたらしたのかを考察する。また、分析結果や救助部隊全体の成果から、協調行動が救助結果

にもたらす影響について分析し、災害救助を改善する協調行動の発見を目指す。

3. 協調行動の分析

3.1 救急隊の行動について

救急隊は救出救命を目的とした災害救助隊である。救出救命は、生命の危機から救出して命を助けることを意味する。救急隊は他のエージェントを埋没状態から救出する。救助対象が市民の場合、搬送により避難所へ被災者を移動させる必要がある。救助対象が他の救助部隊の場合は、体力が十分に残っていれば自ら移動することができる。

したがって救助隊は救出・搬送を通して、救助対象の安全を確保する。安全確保とはすなわち、生命の危機を排除することだといえる。

救急隊が救出・搬送をおこなうためには、仮想都市上から救助対象を見つける必要がある。また救急隊は行動内容の特性により、救助対象に接近する必要がある。したがって、救急隊の救助目的とその救助における救助行動の過程を、次のように言うことができる。

救急隊の行動目的とその救助行動の過程

救急隊は人命の安全確保を目的に災害活動をおこなう。その救助目的は救助対象の生存であり、そのために「探索・接近・救出・搬送」の過程を通して救助活動をおこなう。

この各過程の状態は、次のような状態である。

- 探索 (SEARCH) とは、救助対象を発見するための行動状態である
- 接近 (APPROACH) とは、救助対象へと接近するための行動状態である
- 救出 (AID) とは、救助対象を埋没から救出する行動状態である
- 搬送 (TRANSPORT) とは、救助対象を避難所へ搬送する行動状態である

3.2 救急隊の協調行動について

本研究では協調行動を次のように定義する。

定義 1 (協調行動) 協調行動とは救助目的を達成するために、救助行動の過程を通して協力し、救助行動を達成すること

すなわち協調行動とは、ある状態を終了し救助目的を達成するために、他者と協力するような行動を実行することである。

救急隊における救助行動の過程の状態を考えると、探索と救出における協調が考えられる。

探索は救助対象者を発見するための状態であり、仮想都市上の移動及び通信により得た情報から、救助対象者を発見することにより終了する。ここで通信により救助要請や協力要請が得られた場合、それを受諾し行動に移すことは、要請の発信元への協調といえる。救出は埋没した救助対象

者を救出するための状態である。RRSにおいて埋没からの救出は埋没度を減少させることであり、複数人でおこなうことにより、より早く埋没を解消することができる。したがって救出において複数人で救助にあたることは、対象を迅速に救出するための協調であると考えられる。

以上により、救急隊における協調行動を次のように定義する。

定義 2 (協調 1: 要請の受諾) 探索において救助・協力要請を受諾し行動すること

定義 3 (協調 2: 救出の協力) 救出において複数人で協力して対象を救出し、生存させること

3.3 協調行動と行動結果の抽出について

救助行動の過程の抽出

協調行動の抽出のため、救急隊の行動列から救助行動の過程における状態を抽出する。

救助行動の過程において、それぞれの状態において救急隊がどのような状態であるかを考える。本研究では、次のような状態であるとした。

探索 救助対象を発見していない

接近 救助対象に向かって移動している

救出 救出活動中である

搬送 市民を収容している

このうち、救出と搬送はそれぞれ行動内容・収容の有無から判断可能である。しかし探索と接近は、その行動内容や救急隊の状態から判断することは難しい。そこで探索と接近が Move によって実現されることに注目し、次に「Move の最終目的地が変更された」もしくは「Move でない行動を取った」行動まで判定を保留し、その次の状態が救出や搬送であれば接近、それ以外ならば探索として扱う。

この条件をもってすべての行動列に対して判定の処理をおこない、その行動がどの救助行動の過程にある行動なのかを判断する。

協調 1 の抽出

協調 1 は、探索において救助・協力要請を受諾し行動することである。そのため、まずは探索が終了した時点での認識に、選択した救助対象の情報があるかを確かめる。救助対象の情報がある場合は、その情報が視覚情報か通信情報かを確かめる。

もし通信情報がない場合、すなわち視覚情報のみの場合、それは要請を受諾した行動であるとは言ふことはできない。また、視覚情報と通信情報のどちらも存在する場合は、その行動選択が要請であるか判断できない。

したがって本研究では、探索の終了が通信による情報のみで発生した時を要請の受諾として扱い、そのステップ数と要請である通信を収集する。

協調 2 の抽出

協調 2 は救出において複数人で協力して対象を救出し、

生存させることである。そのため、あるステップで救出の対象とされたエージェントのうち、複数の救急隊によって救出されているエージェントを抽出する。

行動結果の抽出

救急隊の行動を評価するために必要な情報を抽出する。

救急隊の行動目的は「救助対象の生存」であり、その救助対象は埋没・負傷したエージェントである。そのため、行動の評価として救助対象としたエージェントの生存を確認する必要がある。また、埋没・負傷の状態にあったエージェントがどの程度救出・搬送されたのかを確認する必要がある。

したがって、次のようなエージェントを収集する。

要救助者 埋没したエージェントや負傷した市民など救助が必要なエージェント

救出者 埋没から救出されたエージェント

搬送者 搬送されたエージェント

生存者 シミュレーション終了時点で生存していたエージェント

また協調 2 で抽出した、複数の救急隊から救助対象とされているエージェントについて、上記の項目に含まれるエージェントをそれぞれ抽出する。例えば、協調して救出されたかつ生存している（協調救出・生存者）などである。

3.4 協調行動の分析

協調行動により、救助結果にどのような影響を及ぼしたのかを判断するため、協調行動と救助結果について分析し、その関係を確認する。そのため、次のような項目について抽出し、分析をおこなう。

チーム能力の分析

協調行動がより良い結果に繋がるかを判断するためには、その競技チームがどの程度の結果を得たのかを評価する必要がある。そこで、それぞれの競技チームにおいて、救助活動がどの程度達成できているかを分析・考察する

協調 1 の発生と救出の分析

協調 1 は要請の受諾によって、探索を終了させ、救助・協調を開始することである。協調 1 により災害救助にどのような影響があったかを分析するために、協調 1 と救助・協調の発生を観察し、その関係性を考察する。

協調 2 の発生と達成の分析

協調 2 は救出において、複数の救急隊が同じ救助対象に対して救出をおこなうことである。また、その救出の結果として、シミュレーション終了時まで生存していることが望まれる。そのため、救出と搬送について、それぞれ協調されたものと合わせて観察し、その関係性を考察する。

4. 実験及び考察

4.1 実験目的

本研究の目的は、協調行動が災害救助に及ぼす影響を明

らかにし、より良い救助結果に繋がる協調行動を発見することである。そのため、協調行動が救助結果に及ぼす影響の分析・評価を目的として実験をおこなう。

4.2 実験方法

実験方法としては、提案手法を用いてログデータから協調行動と救助結果を抽出し、それぞれの競技チームに分けて集計した上で、協調行動の分析をおこなう。また分析結果より、協調行動の定義の妥当性について検討し、協調行動が救助結果にもたらす影響について考察する。

チーム能力の分析

救助活動がどの程度達成できているかを分析する。救助隊が救助しなければならない要救助者や、救急隊による救出の対象となったエージェント、救出されたエージェントを抽出する。抽出したそれぞれの項目における人数と、そのうち最終的に生存した人数から、どの程度救出が達成できたのかを分析する。

協調 1 の発生と救出の分析

協調 1 による要請の受諾と、救出・協調の発生回数との関係を分析する。そのため救急隊による要請の受諾と、その救出及び協調した救出を抽出する。そのそれぞれの数を比較することで、要請の受諾が救出活動にどのような影響をもたらすのかを分析する。

協調 2 の発生と達成の分析

協調 2 による協調した救出及び搬送が、救助の達成に関係しているかを分析する。そのため救出・搬送全体と協調した救出・搬送をそれぞれ抽出し、その達成率（生存率）の比較をおこなうことで協調した救出が救助活動にどのような影響をもたらすのかを分析する。

実験対象のログデータについて

本実験で対象とするログデータは、2017 年に名古屋で開催された RoboCup 2017 Nagoya[9] おいておこなわれた、RRS の競技会における決勝戦のログデータとする。

決勝では、予選での上位 4 チームが 8 シナリオ分のシミュレーションをおこなった。この競技におけるログデータは RRS プロジェクトから配布されている [10]。

決勝に参加した 4 チームを成績上位のチームから T1, T2, T3, T4 とする。

4.3 実験結果及び考察

チーム能力の分析

表 1 は、チームの能力を分析するため、ログデータから抽出した救助結果をチーム別に集計したものである。カッコ内の数字は、その項目の内最終的に生存したエージェントの数を表す。なお、搬送については市民しかおこなわれず、搬送の終了条件である避難所へ到達した時点で市民は死亡する恐れがなくなるため、搬送達成条件に生存を含めた。

表 1 各チームの救助結果

Table 1 Result: result of disaster relief by each team

Team	要救助者（生存）	救出対象	救出達成（生存）	搬送
T1	1281 (298)	285	214 (195)	201
T2	1290 (297)	284	261 (232)	164
T3	1346 (233)	173	150 (115)	75
T4	1359 (216)	190	163 (137)	69
合計	5276 (1044)	932	788 (679)	509

表 2 要請の受諾と救出活動の抽出結果

Table 2 Result: number of sampling accepted request and rescuing by each team

Team	要請受諾	救出対象	協調対象
T1	41	214	151
T2	34	261	130
T3	46	150	87
T4	29	163	115

4 チーム合計の値から、

$$(\text{救出達成}) / (\text{救出対象}) = 788 / 932 \simeq 0.845$$

より約 85% の救出が達成できていることとなる。救助目的を考えると、その生存が求められるため、

$$(\text{救出達成} \cdot \text{生存}) / (\text{救出対象}) = 679 / 932 \simeq 0.729$$

から、約 73% の救助が達成できていることになる。

表 1 における各チームに注目すると、要救助者の数が違うことがわかる。これは救急隊以外の災害救助隊の働きによるものだと考えられる。

救出対象から、T1, 2 は同じ程度の活発さで救助活動をおこなっていることがわかる。しかしながら、救出達成数から T2 が T1 より多く救助を達成できているとわかる。しかしながら、搬送では T2 より T1 のほうがより多く達成できていることがわかる。これは搬送が市民を対象とした救助行動であることより、T1 は T2 より市民の救助をより優先していると考えられる。

また、T3, 4 においても救助達成数と搬送数から、T3 は T4 よりも市民を優先した救助をおこなっていると考えられる。しかしながら、T1 や T2 と比較するとその比率は少ない。したがって、救急隊のみの能力を考えても、T1 や T2 が効率よく救助をおこない、T3 や T4 はそれらより効率が低いと考えられる。

協調 1 の発生と救出の分析

表 2 は協調 1 の分析のため、要請の受諾と、救出及びその協調の回数を抽出したものである。表中の協調対象は、協調して救出にあたった対象の数を示す。

抽出結果により、要請の受諾による探索から救助への織維が発生していることがわかる。要請の受諾を最も多く記録しているのは、T3 である。しかしながら、T3 は 4 チー

表 3 救助行動と協調救出の抽出結果

Table 3 Result: number of rescuing result and cooperative action by each team

Team	救出（生存）	搬送	協調救出（生存）	協調搬送
T1	214 (195)	201	130 (122)	116
T2	261 (232)	164	129 (117)	75
T3	150 (115)	75	85 (62)	35
T4	163 (137)	69	109 (96)	43
合計	788 (679)	509	453 (397)	269

ム中で最も救出対象・協調対象ともに少なく、要請の受諾が救助活動に良い影響を及ぼしているように見えない。次に多いのは T1 である。T1 は T2 と並び救助活動を活発におこなっているチームである。このチームは協調対象は最も多く、より協調した救助をおこなっているチームといえる。T4 のチームは要請受諾数が 4 チーム中で最も少いが、協調対象数は、T3 のチームよりも多い。

したがって、協調 1 が発生していることは確認できたが、協調 1 により、どのような効果が得られるのか、確認するまでに至らなかった。協調 1 により、救助が達成されたかを確認するためには、協調 1 の発生後の行動を追跡し、その救出（協調）の抽出をして、分析する必要があると考えられる。

協調 2 の発生と達成の分析

表 3 は協調 2 の分析のため、救出・搬送の救助結果と、そのうちの協調したものの対象数を抽出したものである。表中の協調救出は、協調して救出した対象数を示す。また協調搬送は、協調して救出した対象のうち、搬送され最後まで生存した市民数を示す。

まず、4 チーム合計の値から、救出と協調救出の比率を考えると、

$$(\text{協調救出}) / (\text{救出}) = 453 / 788 \simeq 0.575$$

より、救出行動全体の 6 割弱が協調したものだとわかる。これは、救急隊の救助活動の中で、協調 2 が確かにおこなわれていることを示している。

表 3 をチームごとに確認すると、協調救出数から、T1 と T2 が同程度の協調した救出活動をおこなっていることがわかる。しかしながら、その生存数を考えると、T1 が T2 よりも多く、より効率の良い協調をおこなっていると考えられる。またこの 2 チームを比較すると、T1 が搬送について大きな値を取っていることがわかる。これはチーム能力の分析での考察と同じように、T1 が T2 よりも市民の救助を優先しておこなっている結果だと考えられる。

T3 をみると、協調救出・協調搬送数ともに 4 チームで最も低い値を取っている。しかしながら、搬送の数は T4 よりも多いことから、T3 は全体的に分散して行動しており、あまり協調をしていないことが考えられる。

T4 のチームは、T1, 2 と比べ、救出数の差と協調救出数

の差が大きいことがわかる。これから、T4 は最もよく協調しており、その協調の取り方によって、T1, 2 との差が生まれているのではないかと考えられる。

したがって、協調 2 は確かに災害救助に影響を及ぼすことがわかった。そして、その取り方によって、災害救助の結果に大きな影響を及ぼすとも考えられる。その協調の取り方として、1 体の対象に集まる規模や、その集まり方が考えられる。これらを抽出し、分析することで、災害救助の結果に繋がる協調行動の分析ができると考えられる。

4.4 実験のまとめ

チームの能力の分析より、それぞれのチームに関して救助の達成を分析した。この結果から、チームにより救助対象の選択に違いがあることがわかった。これは T1, 3 のチームが救出数に対する搬送数が多いことから、より市民を優先して救助していると考えられるためである。また救出の達成回数が多い T2 よりも、T1 のほうが要救助者の生存数、搬送の達成回数ともに多いことがわかった。

協調の分析により、救急隊の救助活動において、協調行動が頻繁に発生していることがわかった。また、それぞれのチームによって協調行動の対象が異なることがわかった。これは協調行動の改善によって、災害救助が改善できることを示していると考えられる。しかしながら、協調 1 が発生したことによる救助活動への影響や、協調 2 による生存数への関係など、協調行動が救助結果にもたらす明確な影響は得ることができなかった。

また考察として、協調行動の取り方により、救助結果が大きく変わると考えられる。協調行動の取り方として、要請を受けてから取った行動や、協調して救出に当たる救急隊数などに違いが現れると考えられる。このような協調の実現方法を詳しく分析することで、災害救助を効率化することに繋がる協調行動を発見できると考えられる。

5. おわりに

5.1 まとめ

本研究では災害救助シミュレーションである RRS を対象に、災害救助においてより良い救助結果を得るために繋がる協調行動の発見を目指した。そのために、行動の過程に注目した協調行動の定義をおこなった。また定義した協調行動をエージェントの行動列から抽出する方法を提案した。そして、抽出した協調行動が救助結果にどのような影響をもたらすのかを分析した。

実験結果により、協調行動が救急隊の救助活動において頻繁に発生し、その取り方によって救助結果に影響を及ぼすことがわかった。しかしながら、どのような協調行動の取り方がより良い救助結果に繋がるのかは明らかにならなかった。

5.2 今後の予定

実験における考察により、次のような課題が考えられる。
協調の形成についての分析

本研究では、協調に参加しているエージェントがどのように協調を実現したのかは考慮なかった。特に協調 1 において、要請の受諾により協調に参加し、結果として達成できたのかを判定できなかった。そのため、救助活動の行動列において、救助隊がどのように協調を形成するかを分析することで、どのように救助の効率化を測れるのかの分析する必要があると考えられる。

また協調 2 において、どのような協調の取り方がより良い救助結果に繋がるのかが判定できなかった。これに対して、協調対象に対してどのような規模で、どのように救助をおこなうのかを分析することで、協調 2 について効率の良い救助が発見できると考えられる。

参考文献

- [1] Organization of RoboCupRescue Simulation League: RoboCupRescue Simulation League, (online) <http://rescuesim.robocup.org>.
- [2] 田所 諭: ロボカップレスキュープロジェクト, 社会・経済システム, Vol. 21, pp. 34–42 (オンライン), 入手先 (<https://ci.nii.ac.jp/naid/110005106935/>) (2002).
- [3] Cohen, P. R. and Levesque, H. J.: Teamwork, *Nos*, Vol. 25, No. 4, pp. 487–512 (online), available from <http://www.jstor.org/stable/2216075> (1991).
- [4] Jennings, N.: Controlling cooperative problem solving in industrial multi-agent systems using joint intentions, *Artificial Intelligence*, Vol. 75, No. 2, pp. 195 – 240 (online), DOI: [https://doi.org/10.1016/0004-3702\(94\)00020-2](https://doi.org/10.1016/0004-3702(94)00020-2) (1995).
- [5] Pynadath, D. V. and Tambe, M.: Multiagent Teamwork: Analyzing the Optimality and Complexity of Key Theories and Models, *Proceedings of the First International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems: Part 2*, AAMAS '02, New York, NY, USA, ACM, pp. 873–880 (online), DOI: [10.1145/544862.544946](https://doi.org/10.1145/544862.544946) (2002).
- [6] Malone, T. W. and Crowston, K.: The Interdisciplinary Study of Coordination, *ACM Comput. Surv.*, Vol. 26, No. 1, pp. 87–119 (online), DOI: [10.1145/174666.174668](https://doi.org/10.1145/174666.174668) (1994).
- [7] Siddhartha, H., Sarika, R. and Karlapalem, K.: Retrospective Analysis of RoboCup Rescue Simulation Agent Teams, *Proceedings of The 8th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems - Volume 2*, AAMAS '09, Richland, SC, International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems, pp. 1365–1366 (online), available from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1558109.1558296> (2009).
- [8] Iwata, K., Ito, N., Toda, K. and Ishii, N.: Analysis of Agents' Cooperation in RoboCupRescue Simulation, Vol. 149, Springer (2008).
- [9] Organization of RoboCup 2017: RoboCup 2017 Nagoya Japan, (online) <https://www.robocup2017.org>.
- [10] Organization of RoboCupRescue Simulation League: Robocup Rescue Simulation - SourceForge.net, (online) <https://sourceforge.net/projects/roborescue/>.