

3

RoboCup Soccer と RoboCup Rescue

野田 五十樹 (独) 産業技術総合研究所 情報技術研究部門

動的で複雑な環境を対象とするマルチロボット・マルチエージェントの技術の優劣を分かりやすいかたちで比較・視覚化し、競技を通じて研究を推進することを目的とする RoboCup も開始から 10 年が過ぎた。その間、数々の手法が応用され、戦術もさまざまに変遷してきた。同時に、災害救助など新たなテーマを取り上げたリーグが創設されてきている。本稿では、この 10 年の歴史を振り返るとともに、新たになってきたテーマやトーナメント方式の功罪、今後の展開についての議論を行う。

RoboCup の目的

1997 年に RoboCup Soccer が始まってから 10 年が経った。その間、数多くの研究者がこの標準問題に取り組み、さまざまなエージェント技術の手法やアイデアを適用してきた。そして、近年では人間が見てもそこそ高度なサッカーを展開するまでになってきている。また、2000 年に災害救助をテーマとする RoboCup Rescue が立ち上げられ、災害救助を支援できる各種技術を競技形式で評価する試みが開始され現在に至っている。

そもそも RoboCup は、人工知能やロボットの技術研究に対して、多数の主体が動く動的で不確実な環境を用意し、トイプロブレムから一歩実世界問題に踏み込んだ標準問題を提供することで、実践的な技術の研究開発を促進しようという目的で始められた。その甲斐あってかサッカーや災害救助が例題として定着してきており、動的な環境で判断・行動するエージェントや複数エージェントの協調問題に関する手法を評価・検証する際の具体例としてさまざまところで取り上げられるようになってきた。

研究発表の場にトーナメント形式を取り入れる手法は昔からいくつか行われてきたが、その中で RoboCup は以下のような特徴を有している。

- 実世界問題であるサッカーや災害救助をできるだけそのまま扱い、ロボットや人工知能の技術課題に合わせ

て問題設定の変更を行っていない。これにより問題としてのリッチさが保たれ、単なる要素技術ベンチマークに終わらず、総合力が試されるシステム化技術の評価軸を提供できている。

- 学会などと独立した活動を行ったため、学際的な大会運営やプロモーションを機動的に行うことができた。これにより、日本発で国際的な展開が可能となったほか、教育部門である RoboCup Junior の推進といった活動も積極的に行っている。これらの活動により、研究開発の一般への理解や啓発を進めることができた。このような成功を受けてか、RoboCup 以降、ロボットや情報処理の分野で数多くのトーナメント形式のイベントが企画され、現在では「RoboCup 方式」というかたちで研究推進の一手法として広く認知されてきている。

また、災害救助では大規模大震災軽減化特別プロジェクトなどいくつかのプロジェクトの発端となり、各国においても同様のプロジェクトが始まりつつある。さらに福岡や大阪などでは、RoboCup の世界大会開催を契機としてロボット産業の振興活動が組織されるといった効果も生み出しており、単なる学術活動を越えた幅広い影響を及ぼすようになってきている。

テストベッドとしての RoboCup

現在、RoboCup は表-1 に示すようなリーグ構成をとっている。これらの種目でいわゆるエージェント技術

RoboCupSoccer	Simulation League Middle-Size League Small-Size League 4-Legged League Humanoid League
RoboCupRescue	Robot League Simulation League
RoboCupJunior	Soccer League Rescue League Dance League
(その他)	RoboCup@Home

表-1 RoboCupのリーグ構成

に関連が深いのは、RoboCupSoccer Simulation League (以下、Soc. Sim. リーグ) および RoboCupRescue Simulation League (以下、Res. Sim. リーグ) である。

Soc. Sim. リーグは、RoboCup Soccer Simulator (以下、RCSS と略す) と呼ばれるシミュレータ上で各チーム 11 体からなるプレーヤで対戦を行うものである。参加者はこのプレーヤの頭脳となるエージェントプログラムを作成し、ネットワークを介してこのシミュレータと接続して試合を行う。各エージェントプログラムは独立して動作するため、参加者はさまざまなチーム戦術を実現する協調的なエージェントを作成する必要がある。現在、2次元平面上で対戦する 2D サブリーグと、高さ方向がある 3D サブリーグからなっている。

Res. Sim. リーグは、Soc. Sim. と同様に RoboCup Rescue Simulator というシミュレータ上で活動する災害救助エージェントを作成して、救助の効率を競うというものである。Soc. Sim. と異なり、各試合 (?) では 1 チームのみが参加する形式をとっており、ある計算式に基づいて救助の効率を数値化して、その優劣を決めることになっている。

Soccer Simulation

総合力評価のためのテストベッド

そもそも Soc. Sim. リーグは、機械学習やチームワークの記述方法、エージェントモデリングといったマルチエージェントの要素技術を評価するためのテストベッドとして提案された。ただし、これらの要素技術を前提として問題を設定しているわけではなく、これらの要素技術が必要であり、かつ自明な最適解がおそらくは存在しないと思われる環境を用意してテストベッドを提供するという点が、標準問題としての RoboCup の特色となっている。

対戦形式であることも重要なポイントとなっている。すなわち、対戦相手ごとに環境が変化するうえ、毎年競技を行うことで、ルールを変更することなく自動的に年々難易度が上がっていく点である。これにより、運営

側が恣意的に問題を複雑化させることなく、段階的・多角的に技術の優劣が評価できる枠組みを構築していけるというわけである。実際、ここ数年の国際大会のレベルは非常に高くなり、予選を通過するだけでも至難の技となりつつある^{☆1}。

このようにして構成されてきたテストベッドに対して、数多くの研究者が課題として取り組んできており、これまで 200 を超える論文がジャーナルや国際会議で発表されてきている。また、keep-a-way soccer^{☆2} など部分問題も提案され、裾野が広がってきている。

上でも述べているように、RoboCup では総合力、すなわち、いくつかの要素技術を組み合わせることで実世界問題に適用していくシステム化技術を重視している。実際、現在の Soc. Sim. リーグでは、単一の手法だけで勝ち上がれることは稀であり、強豪チームは作り込みを含め、各種手法を組み合わせることで完成度を高めているところが多い。たとえば、Helios (RoboCup2005 3 位入賞, Japan Open 2006 優勝) の秋山氏も、自身のプログラムを解説した著書⁵⁾で「チームの戦略や戦術のレベルにおいては、このような作り込みのチームがいまだに強いのも事実」(3.22 節) と記しているように、個々のエージェント技術よりも総合力が重視されている。

システム化技術に注目した研究としては、Stone による Layered Learning³⁾ がある。彼らは、神経回路網や決定木学習など、適用範囲の限られている学習手法をうまく組み合わせることで、サッカーのような複雑な問題を取り扱うことができることを示している(図-1)。また、Layered Learning ほどはっきりした概念を提唱しているわけではないが、2005 年の国際大会の優勝チームである Brainstormers¹⁾ も、神経回路網による関数近似や強化学習、熟考型意思決定と反射型意思決定のバランスなど、複数の技術を適材適所で応用してプレーヤエージェントを構成しており、7 年間にわたってベスト 4 を維持している。

これらの適材適所で使える技術に応用するという考え方は、現状ではまだ多くの問題に適用できるほど一般化あるいは整理されてはいるわけではない。しかし今後、実問題への応用を踏まえたエージェント研究では、要素技術の開発・改善だけでなく、個々の問題に対処するためのシステム化技術を培っていくことが重要になってくるはずであり、その評価手法として今後も RoboCup の

^{☆1} 世界大会への予選通過は難しくなってしまったが、テストベッドとしての RoboCup は本大会以外にもいろいろ用意されている。たとえば Japan Open を始めとする各国内大会では選抜なしで出場できることが多い。また、Soc. Sim. にはインターネットリーグという常設リーグがあり、他流試合を行う環境が整えられつつある。

^{☆2} 10 × 10m の領域で、敵味方に分かれてパスでボールを保持し続けるゲーム。人間のサッカーでも練習でよく用いられる。

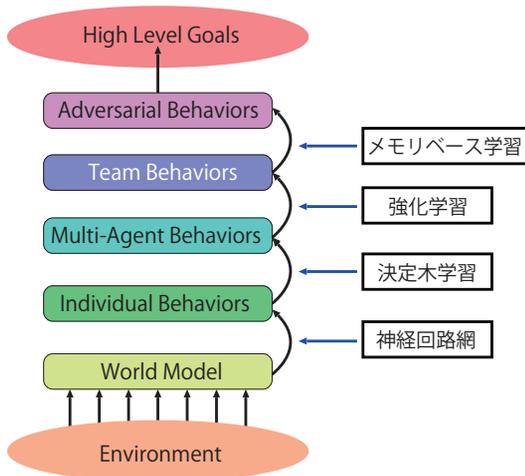


図-1 Layered Learning

ような活動は重要になってくるであろう。

Rescue Simulation

Res. Sim. リーグでは、複数の異なる種類の救助エージェントの協調的な行動により、時々刻々と状況が変化する未知の災害現場でいかに効率よく救助活動を行うかという競争形式をとっている。特に、通信インフラがダメージを受けるような大規模災害を想定しており、各救助隊となるエージェントの開発では、限られた情報をフルに活用し消火や道路啓開など相互に関係する作業をうまく連携する手法が問われることになっている。その意味で、Res. Sim. は Soc. Sim. をより実用的な問題設定にしたものとなっている。

この Res. Sim. リーグでは、救助エージェント自体の競技以外に、この種目を題材にシミュレーションシステムの拡張などを行うインフラ競技が重視されている。以下ではこのインフラ競技で派生した研究を紹介していく。

コミュニケーションゲームとしての Rescue Simulation

情報という観点で見た場合、災害救助というのは、不足する情報をいかに効率よく集め、いかに的確に判断を下せるか、ということに尽きる。そこで必要とされる情報は、現状ではさまざまな組織やシステムでばらばらに管理されており、災害時には人間同士や組織間でそれらの情報を共有することに多大な労力が使われてしまっている。

この点に着目し、Res. Sim. の環境を人間同士の情報共有・コミュニケーションゲームのプラットフォームとして使う試みが高井ら⁴⁾により行われている。Res. Sim. では消防隊(消火活動に従事)・救急隊(倒壊建物からの被災者の救出・搬送に従事)・道路啓開隊(建物倒壊による道路閉塞の解消作業に従事)の3種類の救助エージェ

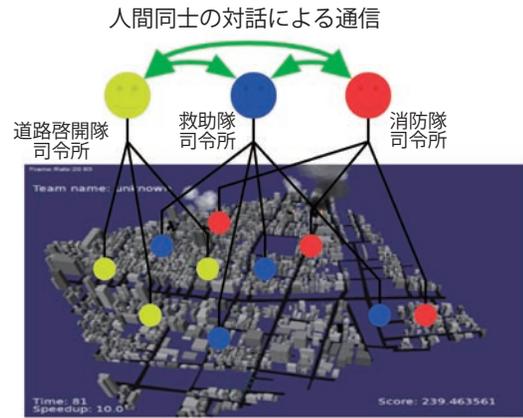


図-2 Res. Sim. によるコミュニケーションゲーム

ントが活動することになっており、各々のエージェントは、司令部と現場部隊の2階層構造に組織化されている。Res. Sim. リーグの通常の競技ではこれらの司令部および現場部隊すべてをエージェントプログラムにより制御しているが、高井らはこれらのうち3つの司令部のみを3人の人間に置き換えることを行っている。各司令部となった人間は各々の配下の現場部隊エージェントに指令を与えながら、同時に司令部相互の情報共有や協力依頼などを口頭で行うわけである。すなわち、実際の災害でばらばらに収集・管理される情報の共有の難しさを擬似的に再現しようという試みである(図-2)。

この試みの目標は2つある。

- 災害救助訓練システムとして用いて机上訓練だけでは難しい指令者の状況判断の鍛錬を可能とする。
- 指令者間での情報の流れや指令者が必要とする情報を調べ、情報提示や情報共有の方法の有効性を検証するテストベッドとする。

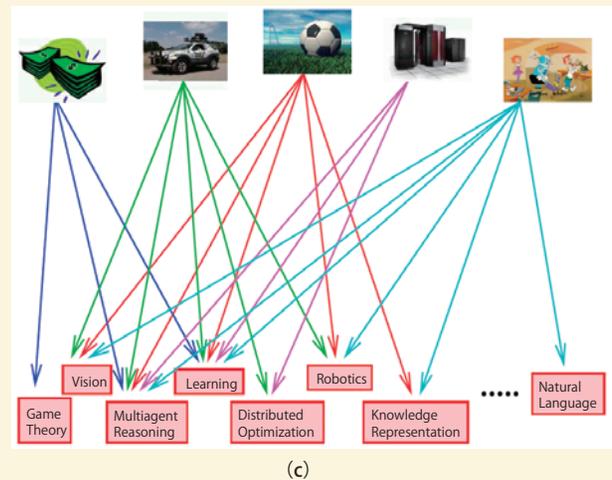
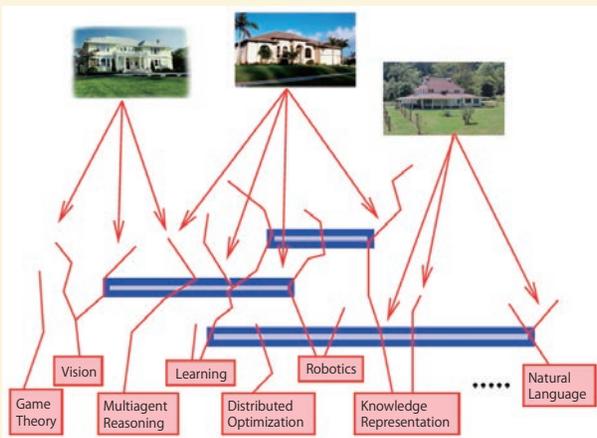
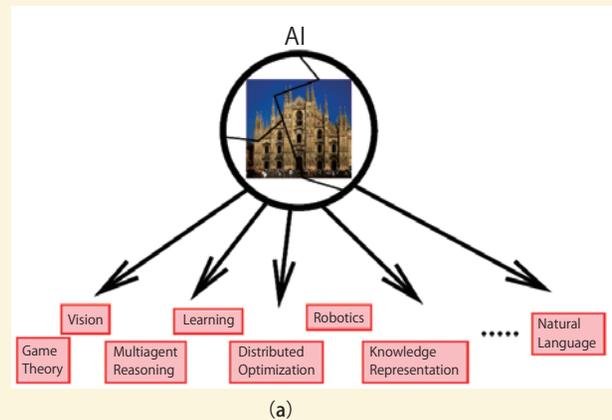
いずれも必要とされながら、技術やデータの不足からこれまで手がつけられてこなかった応用であり、実用化されればその効果は非常に大きいといえる。

この試みにおいて重要な点は、現場エージェントがそこそこの知能であることである。実際のプロフェッショナルによる救助活動を精度よく模倣できるエージェントを作ることには現状では難しい。また、「消防隊を派遣すれば何分後に何%の確率で鎮火する」といった確率的な近似は問題を単純化しすぎるため、訓練システムとしては貧弱になってしまう。一方、Res. Sim. リーグで揉まれてきたエージェントは、プロフェッショナルに比べ劣るとはいえ知的で効果的な救助活動を行うことができるようになっており、また、現場エージェント同士が司令部を介さずにコミュニケーションして共同で救助に当たるといった、現実では当たり前だが確率的にとらえるとモデル化が難しい状況も再現できるようになってい

ランドマークプロジェクトとしての RoboCup

IJCAI-07 Computers and Thought Award を受賞した Peter Stone 氏は、RoboCup のようなランドマークプロジェクトを右図のように説明している。すなわち、従来の人工知能研究では (a) のように大伽藍のような人工知能の完成形を各要素に分解して研究を進めるという立場であった。しかし実際には各要素技術は (b) の下半分のように枝分かれしながら発展し、目指すべき大伽藍もはっきりしない。そこで、大伽藍のかわりに小ぶりの建造物を複数目標とし、各々に向かってバラバラになりがちな要素技術研究の橋渡しをしながら各研究を進めていく。RoboCup は、trading agent や自動走行車の競技会など同様の形で始められてきた各種活動とともに、これらの小ぶりの建造物の1つとしての役割を担っている。

(図はすべて Peter Stone 氏提供)



る。これも、救助効率を競う種目という形で Res. Sim. リーグを続けてきた成果であり、公開型競技形式という RoboCup の取り組みにおける技術開発の1つの派生形態と考えられる。

社会シミュレーションとしての Rescue Simulation

従来の災害シミュレーションでは、建物倒壊や火災延焼など物理的現象を扱うものが大半であったが、近年は被災者を含む人々の動きを主に扱う社会シミュレーションにも注目が集まっている。ここでポイントとなるのが、シミュレーションで扱う人間の行動の抽象化度と、対象となる人の数(人口)に対するスケーラビリティのバランスである。Res. Sim. が仮定している都市部での大災害では、消防等の防災機関の処理能力が被害が大きく上回るため、近年では一般市民の自助・互助防災の意識向上が重視されつつある^{☆3}。また、帰宅難民の問題など、市民の被災行動にも関心が払われてきている。これらの現

☆3 阪神淡路大震災でも、大半の被災者(神戸市東灘区の調査では68%)は救助隊ではなく一般市民により救助され、市民による初期消火で被害の拡大が抑えられたケースも多数報告されている。

象は人口が多い場合に意味を持つため、シミュレーションでは人口に対するスケーラビリティを確保しておく必要がある。

これを踏まえ、篠田ら²⁾は並列シナリオ問題解決器(PSPS、図-3)と呼ぶ軽量の意味決定エンジンを用いて、Res. Sim. 上で動作するエージェントを開発している。このPSPSでは、多様な環境を「避難中」「火災のそば」といった部分状況に分類し、各々の部分状況に応じて行動ルールを書き分けることができるようになっている。意思決定時には、現在関係している部分状況のみ考慮して通常のプロダクションシステムと同様の推論を行い、実際の行動を決定するようになっている。これにより、多様な振り舞いを表現する全体のルール数が増えても実際にチェックすべきルールが限定されるため軽量動作が保たれ、大規模なシミュレーションが可能となる。その点が評価され、このシステムは2003年よりRes. Sim. リーグの公式市民エージェントとして使われてきている。

このような人工知能・エージェント技術を利用した社会シミュレーションは、今後応用が広がると考えられ、

その中で PSPS のような軽量の人工知能技術は重要になってくると思われる。

標準化問題としての競技

競技ルールと標準化

次に、標準化問題としての RoboCup を見ていきたい。

実機リーグの競技ルールは、Soccer でも Rescue でも共通して人間のサッカーの場合と同じく物理的な制約というかたちで与えられる。つまり、ロボットの大きさやアクチュエータの種類の制限（人間の服装やシューズの規定に相当）、物理的接触などの制限（人間のファールの規定に相当）などである。参加者はその制約の中で、ハードを含めたシステムの改良を積み重ねる。一方、シミュレーションリーグでは、それら物理的制約に加え、行動能力や認識能力についての制約がシミュレータにより与えられてしまっている。たとえば RCSS では、各エージェントは基本的に turn/dash/kick の 3 種類のコマンドを駆使してプレーヤーを制御する必要があり、また、状況の認識に使える情報も RCSS からトップダウンに与えられている。Res. Sim. についても同様で、各エージェントはシミュレータが提供している情報や動作の選択肢の中で自らの認識・行動を構成していく必要がある。よって、これらシミュレータが課する制約は、その競技の性格を決定する重要な要因となっており、この出来不出来により種目としての広がりが大きく変わってくる。また、RoboCup では研究の継続性を重視し、毎年の技術の進展を明らかにするためにも、ルールの変更については比較的保守的になる傾向にある。よって、競技ルールを制定するという標準化作業では細心の注意が必要になっている。

コマンド体系の標準化

RoboCup が始まった当初、Soc. Sim. の turn/dash/kick というコマンド体系については賛否両論があった。このコマンド体系は、シミュレータの開発当時、筆者が自らのサッカーの経験に基づいて、これらのコマンドでサッカーの試合を組み立てることができ、それ以外の事象は瑣末な問題であるという考えの下、決めたものである。これまで議論された代案としては、車輪型ロボットなど具体的なサッカーロボットを前提としてそこで使われるモータへの指令を行動の単位とする案や、一般のサッカーゲームで用いられているような、ワンツーパスな

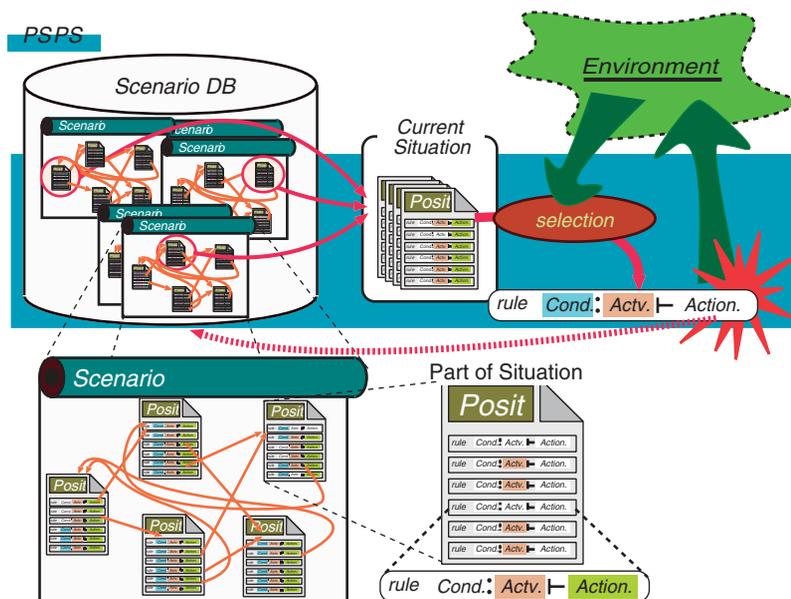


図-3 並列シナリオ問題解決器 (PSPS)

どすでにプリプログラムされたチームプレーを単位とする案などがある。しかし、前者の低い抽象化レベルのコマンド体系については、同様のことをもっと本質的なかたちで取り組んでいる実機リーグで行うべきであり、後者については、競技としての多様性が失われ、問題が自明になってしまうということから共に採用は見送られている。結果論ではあるが、これらの点から、turn/dash/kick というコマンド体系は、サッカーという問題を特徴づける上では非常に妥当なものになっており、そのため、10 年間、大がかりな修正なしに標準として使われ続けたといえるだろう。

10 年間、同じ体系を使い続けることができたことは、標準問題としての RoboCup の大きな資産となっている。まず第 1 に、10 年の試合の傾向の変化を同じ土俵の上で議論できることは大きい。特にこの 5 年間はシミュレータの改変はほぼバグ修正に限定されており、数年前のクライアントプログラムをほぼそのまま使うことができる。これにより、より多くのサンプルプログラムを利用できるようになっており、たとえば機械学習の性能などを調べる際に、複数の対戦相手に対して評価を行うことができ、性能について多面的に議論できる土台を提供できている。

コーチ言語の標準化

一方、残念ながらこのような標準の体系をうまく構築できなかった例も、この Soc. Sim. リーグにはある。RCSS にはオンラインコーチ機能というものがあり、フィールドの外にいる（試合状況の全情報を把握できる）コーチエージェントがプレーヤーエージェントに指示を出せ

inform	利用すべきルールなどを提案する.
define	ルールなどで参照できるよう、フィールド上の領域やコマンド列などに名前をつける.
advice	利用すべきルールなどを提案する.
rule	条件—動作からなる行動ルールを定義する. 動作はパス・シュートやマンマーキングなどがパラメータ付きで指定できる.
freeform	任意の文字列を送る.

表-2 オンラインコーチが用いることのできる形式

るようになっている^{☆4}. この際、コーチエージェントはコーチ言語と呼ばれるメッセージを発する (say) ことになっているが、このコーチ言語の使われ方は、当初に想定されていた共通言語の創発という目的には沿っていないものになってしまっている.

コーチ言語は表-2 に示すような体系からなっており、define や rule 等のメッセージタイプを使って語彙が増やされ、言語自身が肉付けされていくことを目論んでいた。しかし、実際に利用されているメッセージタイプはチームごとに閉じた語彙を用いる freeform あるいは inform にとどまっている。表-3 は、2002 年以降の世界大会の最終ステージの試合でプレーヤおよびコーチが実際に発話したメッセージの回数である。この表から、プレーヤが発話した回数に比べコーチの発話はかなり少なく、また、ほとんどの発話が freeform あるいは inform タイプとなっていることが分かる。これらのメッセージタイプは単にあるメッセージを伝達するという意味しか与えられておらず、特に freeform はそのメッセージの内部の構造も規定されていない。すなわち、各チームは独自の言語体系でコーチからの指示を受け取っており、言語自身をリッチにしていくことは起きなかった。実際、このコーチ機能を使ってコーチエージェントが他のチームのプレーヤエージェントに対して指示を行わせる Coach Tournament では、何も喋らないコーチが最も良いコーチになってしまうことも多々あった。

コーチコマンドがあまり利用されなかったのは、turn/dash/kick コマンド体系が軌道に乗ったのと逆の理由、すなわち、記述体系の抽象度の不適切さにあると考えられる。現状のコーチ言語では、ボールやプレーヤの位置や時刻、パス・シュートやマンマーキング・ポジショニングというレベルの抽象度の要素でルールを記述 (define) することになっている。しかし、これを実際のプレーに当てはめていくためには、プレーヤの思考ルーチンそのものがこれらの指示内容と合致しているか、あるいは、プレーヤの思考ルーチンとコーチの指示内容の自動変換機能を実装する必要がある。しかし、これらの

^{☆4} コーチによる集中制御をさけるため、コーチが指示を出せるタイミングは、ボールがフィールド外に出たときなどに限られている。

年	player	coach	コーチのsayの内訳				freeform
			inform	def.	adv.	rule	
2002	68038	97.37	0.00	0.00	0.00	0.00	97.37
2003	65208	46.65	0.50	2.28	0.13	0.00	43.75
2004	75100	31.21	0.79	0.16	0.21	0.00	30.05
2005	66401	115.76	82.59	1.76	0.24	0.00	31.18
2006	82752	76.14	11.71	0.00	1.07	0.00	63.36

表-3 この5年間のプレーヤおよびコーチのsayコマンドの利用状況 (1試合の平均say回数)

実装はプレーヤ作成の自由度を縛るものであり、勝ち負けにこだわるチームほど、これらの制約はあまり重視しなかった。

この問題は、Soc. Sim. リーグの試合レベルの向上が不十分で、コーチ言語の導入は時期早尚であったことに起因している。主としてオンラインコーチの役割は、相手チームの挙動に基づいてチーム戦術の変更や調整を行うことである。しかしチーム戦術の変更を標準言語のボキャブラリで行うためには、そもそも戦術の類型化が行われていなければならない。しかしコーチ言語が設計された時点(2000年前後)では、Soc. Sim. リーグの戦術は類型化できるほど整理されていなかった。このため用意されたボキャブラリは、フィールド上の区画を指定するものや、プレーヤを背番号で指定するものなど、かなり粒度の小さなものになってしまっている。このため、それを構成してできる指示はかなり具体的な行動規則となってしまう、大局的な戦術の変化などは表現が難しいものになってしまった。

以上の反省から、現在、Coach Tournament はいったん中断し、新たな枠組みの検討が行われている。幸いこの数年、強豪チームと呼ばれる上位チームが固定化してきている。これは、有効な戦術がある程度絞り込まれてきていることを示しており、そろそろ戦術の類型化が可能で時期がきていると考えることができる。これらを踏まえて適切な抽象化レベルを設定できれば、コーチ言語の利用も広がると期待できる。

なお、有効な戦術が絞り込まれていることは、テストベッドとして枯れてしまったというわけではないことは記しておきたい。たとえば2006年において、多くのチームはゾーンプレスと呼ばれる、オフサイドラインをできるだけ上げる戦術をとるようになっていた。そこにRIONEというチームがオフサイドラインをギリギリ突破する戦法を編み出して大会の台風の目となり、3位入賞を果たした。このオフサイドライン突破戦術は、オフサイドラインを下げてしまうと簡単に無効化できるのだが、それはもともとの戦術であるゾーンプレスと相反するものになっている。よって、今後はそのどちらをとるべきかという駆け引きが試合では重視されるようになって考

えられる。つまり、チーム戦術として抽象レベルが1段上がったところで新たなゲームが始まったというべき状況であり、この駆け引きこそがコーチエージェントに期待される能力になると考えられる。その意味で、コーチ言語の設計を仕切り直す良い時期にきていると思われる。

Rescue Simulation の競技形式と実用性

Soc. Sim. に比べ実用的な問題を扱っている Res. Sim. では競技形式の実用性という問題も重要である。

現実的に考えると Res. Sim. で開発されている協同的救助エージェントが現実の災害現場で直接利用されるということは想像しにくい。それは、救助活動では誰が／何が最終的に判断し、行動を起こすのか、という点で、現在の競技形式は現実とミスマッチが起きているからである。

Soc. Sim. の場合、サッカーをマルチエージェントの代表的問題ととらえ、より強いチームを作ることが直接技術の進歩に貢献するとみなしている。一方、具体的応用に直結している Res. Sim. では、実際に災害救助の現場で最終判断を行うのは（SF に描かれるような遠い未来はともかく）あくまで人間であるという現実がある。よって、エージェント技術は主体的に判断を下すのではなく、人間の状況判断を助けるために利用されると考えた方が実用的である。その意味で、現在の競技形式である自律的エージェントの開発は最終的な出口の方向とはずれていると言わざるを得ない。

この競技形式の問題については、毎年の世界大会の場で参加チームや運営チームの間でさまざまな議論がなされており、今後、大きく変わっていく可能性がある。ただ、現在の競技形式も、先に述べたインフラ競技を推進する元となっており、意味のある活動になっているといえるだろう。

実践的な研究開発に向けて

本稿では、エージェント技術の研究を推進することを目指した RoboCup の2つのシミュレーションリーグを取り上げ、テストベッドとしての競技の意義と標準化問題としての取り組みについて考察してきた。

RoboCup が提供したテストベッドは、個別の要素技術のテストという性格よりも、総合力としてのシステム化技術を重視したテストになっている点がその特徴となっている。また、競技そのものの問題設定にとどまらず、エージェント技術の応用について、さまざまな可能性・方向性があることの実例が RoboCup Rescue などでは出てきている。

求心力を持って多くの参加者を巻き込んで毎年競技を行う活動は、大きな研究資産を構築できることを RoboCup は例証したと言える。ただそのためには、競技の規格化・標準化が重要であり、抽象度レベルを取り組むべき課題に合わせて適切に選ぶことが、競技の成功や継続性につながっている。RoboCup はそういった標準化の小さな実験場にもなっている。

これらの議論に共通するのは、ドメインと技術との密接な関係である。物理学にも、基礎的・理論的な物理学と並んで応用物理学があるように、情報技術も今後、理論とならんで実践的な応用を研究として進めていく必要があるのではなからうか。ただその場合、その応用分野のドメイン知識は他力本願ではなかなか整備されず、自らの手を動かして地道に構築していく必要がある。しかしその作業は現状ではなかなか評価されず、いわゆる研究開発の死の谷の原因となっている。RoboCup という活動がその突破口となるかどうかは分からないが、RoboCup のようにある特定の題材を寄ってたかって探求するという活動は、すくなくともバラバラに研究開発を進めるよりは有効な手段ではないかと、最初の10年を終えて感じる次第である。

謝辞 本稿を執筆するにあたり、愛知工業大学の伊藤暢浩氏、産業技術総合研究所の秋山英久氏には貴重なご意見および情報をいただいた。また、Univ. of Texas at Austin の Peter Stone 氏からは貴重な資料の提供を受けた。ここに感謝する。

参考文献

- 1) Riedmiller, M., Gabel, T., Knabe, J. and Strasdat, H.: Brainstormers 2D-Team Description 2005, RoboCup 2005: Robot Soccer World Cup IX (Bredendfeld, A., Jacoff, A., Noda, I. and Takahashi, Y., eds.), Springer (LNCS) (2005).
- 2) Shinoda, K., Noda, I. and Kunifuji, S.: Civilian Agent Simulation for Disaster Rescue Risk-Communication, The Third IASTED International Conference on Artificial Intelligence and Applications (AIA2003), pp.283-288 (2003).
- 3) Stone, P.: Layered Learning in Multiagent Systems: A Winning Approach to Robotic Soccer, MIT Press (2000).
- 4) 高井朋幸, 桑田喜隆, 竹内郁雄: RoboCup Rescue ヒューマンリーグの設計, 第10回ゲーム情報学研究会, 情報処理学会 (2003).
- 5) 秋山英久: ロボカップサッカーシミュレーション 2D リーグ必勝ガイド, 秀和システム (2006).

(平成19年2月4日受付)

野田五十樹

i.noda@aist.go.jp

1992年京都大学大学院工学研究科電気工学第2専攻博士課程修了。産業技術総合研究所情報技術研究部門主任研究員。機械学習、マルチエージェントシステム、分散シミュレーション・社会シミュレーション、災害情報システムの研究に従事。