特集 自律分散型サッカーロボット

ロボカップ：シミュレーションリーグ†

西野 順二*

1 はじめに

シミュレーションリーグは、写真1のように、計算機上のバーチャルなサッカー競技場で行われる RoboCup 競技である。シミュレーションという名前により勘違いされるが、あくまでバーチャル競技場におけるリアルな試合であって、試合進行のシミュレーション実験を行うものではない。模擬されるのはボールとプレイヤーの物理運動だけである。

実機ロボットを使わないことから、ハードウェアに特有の故障や不具合から離れることができる。しかし、センサーへのノイズや計算時間の実時間制約など、現実世界の整備されたロボットが絶対に逃れられない制約については、シミュレーションシステムに組み込んでいる。具体的には、仮想ノイズやレンジ制限などのセンサ制約、情報転送ロス、実時間制約といった要素をあえて加えてある。

これらは、旧来の人工知能研究のシミュレーション実験では排除してきたものである。これらの制約の付加のため、本リーグ参加者に求められているのは、ハードウェアに即したロバスト知的協調アルゴリズムである。

本リーグは、2002年の現状として、RoboCup の各リーグの中でもっとも進化した高度で知的なプレーを行っているリーグである。これは、参加チームが多いこと、ソフトウェアであることなどの理由があるが、最も重要なことは、優勝したチームおよび強いチームが、そのアルゴリズムとプログラムの公開を行っていることに起因する。全く新しい参加者であっても、これらの過去の資産を有効利用する力さえあれば、いきなり優勝することもできるリーグである。実際に世界大会では2000年の FC Portugal と2001年の Tsinghuaeolus が初出場で優勝しており、日本でも2001年の FC Tripletta が初出場で準優勝している。

2 シミュレーションリーグの概要

本章ではシミュレーションリーグの特性を理解するため、歴史と参加規則、競技システムの仕組みについて概説する。

比較的参加しやすいリーグであること、また時期を同じくして広まった Linux 的オープンソースの思想とあいまってプログラムが無償公開され参加チームが多く進歩の速いリーグとなっている。

2.1 リーグとサーバの歴史

本リーグは最も歴史が長く、1996年のプレ大会以来続いており、そのログや旧バージョンのサーバシステムが現在でも入手できる。

1997年に名古屋国際会議場で開催された第1回大会では、ドイツ Humbolt 大学の AT Humbolt チームが優勝した。当時のほとんどのチームは、協調といえる状態のサッカーではなく、個々のプレイヤーの基本動作を作ったばかりであり、チームメイト同士でボールを取り合う団子サッカーが主流であった。この中で決勝を争った2チームは、ゾーンプレイを行い団子ではないという点で優れていた。

この時期までのサーバでは単にバーチャル競技上にプレイヤーを投入する機能しか持っておらず、サッカーに必要な幾つかの要素が欠けていた。まず、ボールキャプチャのできるプレイヤすなわちキーパの不在、ルールに関してはオフサイドルールの欠失、ゴール後等のプレイ中断と再開時のポジション制約の不備などがあった。このため、試合再開時にすでに相手フィールドにフォワードがいたり、キーパーの代りに二人のプレイヤーがゴール付近をまもったりと、やや奇異なサッカーになっている。

この後、1998年、1999年とアメリカ CMU の2連覇が続いた。CMU のトピックとして、98年第2回大会ではプレイヤーの個人技能の向上が目覚しく、オフサイドルールが定着した99年には CMU の華麗なパスワークと、ダイナミックなフォーメーションが会場を湧かせていた。

現在では、ゴールキーパーの導入により、ゴール前で

† RoboCup simulation-league
Junji NISHINO

* 電気通信大学システム工学科
Dept of Systems Engineering, The University of Electro-Communications

図1 福岡大会のシミュレーションリーグ風景：左辺ディスプレイに表示される試合を観戦する観客

の1対1のシュートセーブはキーパーが有利になった。このため、ゴール前の場面でのパスワーク、いわゆるセンタリングによるシュートが必須である。この制約はフォワードプレイや2人の協調を必要としている。また、オフサイドは防御において重要な働きをするため、最近ではほぼすべての強豪チームのディフェンダーは、綺麗なオフサイドラインを引いて守っており、これはディフェンダーの協調を必要としている。このようにルールが現実的に改変されるにしたがって、協調問題としてより良い例題に進化するという歴史をシミュレーションリーグは歩んでいる。

RoboCup 標準のサッカーサーバシステムの歴史も長く、現在はバージョン9シリーズである。およそ1年ごとにメジャーバージョンが改正されている。2001年のサーババージョン7までは、sserverと呼ばれておりsserver-0.1からsserver-7.11までである。これらはソースプログラムで公開されたソフトウェアパッケージになっており、サッカーサーバ(server)と表示パッケージ(monitor)、そして試合情報ログの再生器(logplayer)に加え多少の基礎ライブラリやサンプルから構成されている。2002年からは、パッケージ名称をrcssserver(The RoboCup Soccer Simulation Server)と変え、rcssserver-8.00 から2003年に向けたrcssserver-9.*へとバージョンアップしている。なお、名前を表記するときにはSが三つも続き間違えやすいので注意が必要である。

バージョン間の違いは、オフサイドなどのルールの組み込みや、より現実的なボールの転がり具合などのモデルチューニング、ネットワークにおける効率化、コーチ言語の導入、ヘテロエージェントの導入など多岐にわたっている。しかしながら、おおむね現実的なサッカーを目指したマイナーチェンジの連続であった。これに対し、2002年のチームリーグ間での議論ののち、現在の2次元モデルから、今後3次元モデルへのメジャーバージョンアップが決まり、この数年の間に大きな変更が加えられる予定である。rcssserver-9は2次元バージョン路線のマイナーチェンジ版であり、3次元モデルは別個に開発がすすめられ、早ければ2003年の

イタリア大会でも試用版によるデモ試合が行われる。

2.2 リーグ規則

本リーグにおける試合上の規則は、ほぼすべてサッカーサーバに委ねられている。オフサイドやラインアウト、試合再開などの基本的なルールとボールの移動などは、サーバ内の審判モジュールが自動判別し、コンピュータらしく厳格に取り仕切っている。この点で実機リーグと異なり、現在では人間の審判が出る幕はほとんど無い。このため、最新の競技ルールについて知りたい場合には、ドキュメントではなくサーバのソースプログラムを解析することが行われている。

基本的にはFIFAの競技規則に従うように作成されている。競技者は各チーム11人である。2次元であることや運動モデルにおける現実との解離は多少あるものの、フィールドの大きさなども内部的には現実と同じ単位を用いている。

人間のサッカーではまず起こらないこととして、プレイヤーの無能さなどによる押し合いによるボールの停止(モール)がある。一定時間続いた場合には、試合停止とボールドロップとよばれるプレイヤーを離しての再開となる。古いバージョンでは人間が判断して停止と再開を行っていたが、現在では自動化されている。本来このような場面はプレーへの遅延として警告となるが、現在はすべての場面において警告や退場の仕組みはない。

なおRoboCupの規約の上では、非紳士的プレイを行ったチームには適宜ファールが与えられるが、現実にはそのような事例はまず無い。

2.3 サッカーサーバとクライアントエージェント

サッカーサーバを用いた試合の様子を図2に示す。RoboCupの公式サッカーサーバは、TCP+UDP/IPネットワーク上に構築された分散型システムである。各チームのプレイヤーは、11体たがいに個別のプログラムプロセスであり、それぞれがUDP接続によってサッカーサーバと接続する。また、本体のサーバ自体は競技

図2 サッカーサーバシステム

場シミュレーションのみを受け持ち、表示システムも別のプロセスとなっている。このため、必要な計算機システムのスケラビリティには大きな自由度があり、高性能な1台でサーバからプレイヤまでまかなうことも、安価な計算機でプレイヤを分けて動かし、サーバ、モニタと合わせ最大24台で一つの試合を行うこともできる。各チームにヒアリングしてみると普段の開発台数はそれぞれ異なっており、実際に1台から20台ほどまでさまざまである。公式試合では2002年現在1チームあたり4台割り当てられ、サッカーサーバ、モニタの2台と合わせて10台の計算機をネットワークで繋ぎ試合をしている。

サーバプレイヤ間の通信には、UDP/IP が用いられている。これは信頼性の無いインターネットデータグラムプロトコルと呼ばれており、再送機能などの無い通信である。このためデータパケットのロスという問題と直面する。これはミスではなく、アルゴリズムのロバストさを要求するための計画的な仕様である。

サーバとプレイヤ間では、仕様で定められたサッカーサーバプロトコルが用いられる。文字列による通信であり、その形式は次に示すような LISP ライクな式による。

(Command (argid1 value1) (argid2 value2) ..)

これは、当初の開発者が人工知能分野であった歴史的な経緯による。各部分の文字長さなどが基本的に自由長であったり、それが予期せぬバージョンアップで変更されていたり、パケットセグメンテーションとロスによってカッコの対応が壊れたり、パーサ自体かなりロバストなものが要求される。実のところ現在でもパーサのミスで停止するプログラムが後を絶たない。

プレイヤからサーバへは、行動に関するさまざまな要求を送る。代表的なものには dash、turn、kick がある。サーバからプレイヤへは、プレイヤの周囲の視覚情報 see、協調に必要な聴覚情報、スタミナ等身体情報などが送られる。これらは現在でも変更が続けられている。

2.4 プレイヤクライアントの概要

プレイヤはサーバ上にバーチャルにシミュレートされたサッカーロボットと考えることができる。ネットワークを介して見ると、同様なプロトコルで通信する実空間のロボットと見分けはつかない。プレイヤプログラムの基本構造を図3に示す。もちろん、チームによってまったく異なる構造を持つものもあるが、多くは図に示した、認識、判断、行動の知能ロボット基礎モデルに従っている。

ネットワークを経由して得られるセンサー情報は、サーバによるノイズと視野制限にパケットロスが加わ

An ordinary soccer player agent

図3 プレイヤの基本構造

図4 プレイヤの視覚モデル

っている。センサーの視野を図4に示す。このような確率変動を含んだ部分計測モデルに対しては、一般にカルマンフィルタのような状態推定オブザーバが必要となる。このようなモジュールは認識処理部としてサッカープレイヤーでも必ず実装されているが歴史的な経緯からワールドモデルと呼ばれることが多い。

サーバへの運動命令は前方移動や回転など、プリミティブなものに制限されており、ドリブルやボールキープと言ったマクロ行動は、基本運動の行動列としてシーケンシャルに送信する必要がある。しかも、運動命令はサーバのタイマーで100msec 毎に1つのみ受け付けることになっているため、状態の変化に合わせた行動の同期が必要である。たとえば、ボールキックと移動の組みでドリブルが実行できるが、これを連続で実行してしまうと実際には移動するときに敵がボールを蹴ってしまい空振りの移動になることもある。より良い行動のためにはこうしたマクロ行動の動的なスケジューリング機構が欠かせない。

これらの認識処理部と行動生成処理部は、人間でいえば基礎的なサッカーの運動能力に相当し、関係者は足まわり、あるいは筋力と呼んでいる。強いチームとするためには、パスなどの高度の意志決定による協調プレーと、こうした足まわりの作り込みのバランスが重要であり、どちらも重要な課題となっている。

3 国際情勢

RoboCup は、日本発の研究プロジェクトながら、開始当初から国際的に開かれた運営を行ってきた。1996年に日本で行われたプレ大会から、シミュレーションリーグには海外勢が参加している。1997年の第一回大会以来の優勝チームと参加チーム数を表1に示す。

3.1 トップチームの分析

国際的に広まってきた99年前後はカーネギメロン大学のCMUチームの独壇場であった。現在RoboCup委員会のエグゼクティブ・コミッティーを勤めるピータ・ストーン(以降人名は敬称略)が、当時は博士課程の学生としてチームを率い、ドリブルキープの強さと卓越したチームプレイで他のチームを圧倒していた。公開された98年バージョンのCMU98のソースプログラムは多くのチームのベースとして用いられ、翌年の99年バージョンとあわせ、現在でもCMUベースおよびその派生のチームは数多い。また、標準的な対戦相手としても用いられるなど、本リーグチームのレベル向上に与えた影響ははかりしれない。CMUチームの学術上の貢献は、オフラインでの協調モデル作成、いわゆる作り込みにロックスルームアグリーメントと名称

を付けたこと、ドリブルなどの動作獲得にニューラルネットを用いて成功したこと、2、3プレイヤー間でのパスワークなど協調動作生成に強化学習を用いて成功したことが上げられる。

2000年のメルボルン大会は、初出場のFCPortugalチームが優勝するというセンセーショナルな結果であった。実はすでに小型リーグでの実績のあるメンバー、パウロ・ルイス(現在本リーグのテクニカルコミッティー)らが実機での経験を生かすことを目的に作ったチームであった。彼らはCMUなど既存のチームを詳細に分析し、その知見を元にFCPチームを作成した。その戦略は、より強いパスワークの実装と、ポジション移動を多用したスタミナコントロールである。当時は他のチームと比較してパスの正確さが秀でていた。CMUは現時点でのレシーバ位置にパスを出していたのに対して、FCPは未来時点でのレシーバ位置を予測したパス、いわゆるスペースへのパスと走りこみを行っていた点が特長的である。この走り込みでのフォワードプレイヤーのスタミナ消費がポジション移動によって補われていた。(チフホア、アイオにて)

2001年の中国清華大学のTsinghuaeolus(チフホア・アイオロス)も初出場で優勝し、そして2002年も連覇している強豪である。結論から言えば、各プレイヤー個々のボールキープ力の強さにチームとしての強さの源泉がある。1対1のボールの取り合いとなったときに、他のチームのプレイヤーでは歯が立たないことが多い。このため、パスをミスしたり、長時間ボールを持っていると、1対1の場面でTsinghuaeolusにボールを奪われ、なかなか取り返せないまま、ゴールまで押し込まれると言った場面がよく見られた。RoboCupのテーマである協調プレーに先立つ、個人能力の高さの重要性を端的に示すチームである。

実際、2001年モデルの公開プログラムをベースとした複数のチームが、2002年大会で予選リーグで多くの勝利をあげていた。特筆すべきは、2002年の準優勝チームEvelestで、ほぼTsinghuaeolus 2001のコピーチームである。協調場面などで本家である清華チームに分があり準優勝となった。

Tsinghuaeolusは、学部生と大学院生を主体とするサークルチームであり、学術的興味はさておき、プログラムの作り込みに力を注いだチームであった。小型リーグのコーネル大学も同様な学部生主体のチームで強さを誇っている。学術目的や論文にこだわるあまり本来の工学的技術力を削いでいる研究偏重チームとの比較は、いちがいに結論が出せない。しかし、真に有用な人工知能技術の推進を目指すRoboCupの理念からはおのずと研究プロジェクトの進め方を顧みる必要を

表1 国際大会

年度	開催地	優勝チーム(国)	現地参加チーム数
97	名古屋	ATHumbolt(ドイツ)	29
98	パリ	CMUnited(米国)	34
99	ストックホルム	CMUnited99(米国)	38
2000	メルボルン	FC Portugal(ポルトガル)	43
2001	シアトル	Tsinghuaeolus (中国)	45(事前96チーム)
2002	福岡	Tsinghuaeolus (中国)	42(事前83チーム)

筆者は感じる。ともあれ、個体能力の高さで圧倒していたCMUを分析し、チームプレー重視のFCPが勝利したように、今後Tsinghuaeolus以降の進歩が期待される。

3.2 学術賞とシミュレーションリーグ

本リーグの国際大会での特筆点としては、97年から01年までのサイエンティフィックアワード(学術賞)を独占してきたことが上げられる。学術賞は、チームの強さではなく、提出されたシンポジウムへの投稿論文により、学術的貢献の高いチームに与えられる賞である。シミュレーションリーグではとくに試合のログが精密に残せるという特長があり、これを生かした研究がなされ学術賞につながっていた。試合ログのリアルタイム分析システム、その自動アナウンスシステム、自己組織化マップを用いた協調分析など、ユニークなテーマが多い。

3.3 2002年福岡大会

福岡大会には、前年12月の事前申し込みの時点で、18カ国83チームがエントリーし、最終的に42チームが参加した。参加国数では、日本、イランが目立っている。日程と消化可能な試合数の制約から、最大48チーム(8リーグ各6チーム)程度であるため、本参加に当たっては、書類と動作のログ提出による事前審査が行われている。

参加数の増大に対応するため、2001年からは、原則1研究組織(大学等)当たり1チームに限るという制約が課せられている。なお、学術的に優れている、地域試合で優秀な成績を上げたなどの評価が高いチームは、この原則からはずれることになっている。筆者は運悪く移動したばかりの大学に既存の強豪チームがあり、チームとしては参加できなかった。福岡大会へは、本解説のための取材と、本リーグのシステム構築と管理のために参加した。

福岡会場の計算機設備は、公式スポンサーが提供す

る80台(うち30台はレスキュー用)ほどのLinuxマシンがスイッチングハブにより、10台ずつのセグメントで接続されていた。40台を4並列の試合用に振り分け、残り10台はネットワークの管理、監視、ホームサーバ、NISサーバに使用された。サッカーサーバなどは各セグメントの計算機に分散配備され、ファイル共有によるネットワークの負荷の発生をなくすよう設計されている。RoboCupでは試合が公正に行われたかどうかが重要になるため、ネットワークに対して異常な負荷を故意に与えたり、不適切なプログラムを動かしていないかを監視記録する必要がある。こうした特殊でかつ高度なネットワーク管理を必要としていたため、本年度は情報工学を専門とする博士課程の大学院の学生を中心とした管理グループが監視を行った。今後はここでの高い技術も企業へ移転する必要がある。こうしたニーズの発掘があることもIT技術向上の一環としてのRoboCupの有効点である。

4 国内の話題

国際大会での日本勢は余りふるわないが、国内での本リーグ参加者は多い。2002年春に日本科学未来館で行われた国内大会には、30チームが参加した。国内での練習試合も活発に行われている。

4.1 国内大会ジャパンオープン

本リーグに限れば、公式国内大会のジャパンオープンのほか、春のキャンプ、秋のキャンプと年に3回ずつの大会が開催されてきた。98年以降の開催概要について、表2に示す。ジャパンオープンは公式試合の感が強く、取材もある大会である一方、春と秋のキャンプは、アットホームな研究会的位置付けで行われており、国内のシミュレーション関係者の横の連携を作る重要なものとなっている。新規参加を考えているチームは、まずキャンプに参加することをお勧めしておく。

最初期の98年には、東工大の安藤による個人チームandhillが優勝している。強化学習を用いた学術的にも

表2 ジャパンオープン：国内大会

年度	開催地	優勝チーム
98	東京	Andhill(東工大)
99	名古屋	11Monkeys(慶應)
2000	はこだて	YowAI(電通大)
2001	福岡	YowAI(電通大)
2002	(東京)	TIT HELIOS(東工大) 春季競技大会として特別開催

優れたチームであったが開発者の卒業とともにチームも解消となった。99年、2000年は、電通大の修士院生の鈴木による YowAI と慶應の修士院生の木下による11Monkeys の2強時代である。関係者が俗に足回りと呼ぶドリブルなどの個人技に勝る YowAI[1]と、CMU をベースにプレイヤ間の協調に重点をおいた11Monkeys [2]という対照的なチームが優勝を争っていた。

11Monkeys も個人チームの色合いが強く開発者の木下の卒業とともに同研究室の後輩に引き継がれたが、後輩らも卒業し現在は開発が停止している。一方の YowAI は、電通大の竹内教授が研究プロジェクトとして率いており研究室一丸の体制で取り組む国内としては異例のチームである。このため開発者は入れ替わるものの毎年コンスタントに改良が進み、参入した1998年以來2002年に至るまで国内のシミュレーションリーグ全体をリードしつづけている。YowAI と、11Monkeys の2チームは、強豪であるとともに、そのソースの公開でも貢献してきた。現在の日本チームの多くは、このどちらかまたは両方のプログラムの派生パーツや考え方の恩恵にあずかっている。

2000年はこだて大会では、北大の学部生の橋本による、Harmony が進化的適応による強さを見せて注目を引いた。2001年福岡ジャパンオープンでは、初出場の慶應 FCTripleta が、かけ声プロトコルによる協調[3]を実装した電通大 YowAI と接戦ののち準優勝となった。2002年春の東京大会では、電通大 YowAI に加えて東工大の博士課程院生の秋山の個人チーム HELIOS が台頭した。HELIOS は2000年以來、年度毎に A-Team, TIT703 と名前を変えた同じチームである。純粋に個人開発で開発者が博士課程に進学したため、長期間開発が続いているというまれなチームである。2002年福岡国際大会では、これまでの経験を生かし日本チームで唯一決勝8チームに残った。

このほか、特徴的なチームとしては、東工大の博士院生の太田による個人チーム Gemini と、福井大の森下、下羅ほかによる Zeng がある。太田の Gemini は最初期から参加を続けている唯一のチームである。動的なフ

ォーメーションシステムを持ち、適応学習によって相手チームに応じたポジショニングを取る。優勝はしないが安定した強さを持ち、つねに予選を勝ち抜くチームである。

福井大の Zeng も比較的長期間参加を続けており、特に開発者数が多いことで知られている。通常1から3名程度で一つの大きなプレイヤプログラムを作るが、Zeng ではフォワード、ディフェンダー、キーパと役割毎に別個の開発者がプレイヤを開発し、5から7名ほどがプロジェクトとして関与している。特に下羅が開発したキーパは秀逸であり99年の世界大会ではCMU に対して非常に高いセーブ率を誇っていた。2000年に優勝したFCP の特徴である強いフォワード関係プレーは、このキーパを主な練習相手とする中で作られたものである。

4.2 日本チーム共通の課題

日本のシミュレーションリーグチームの現状はかなり厳しいと言える。これは、研究グループの体制がほぼすべて学生主体であり、教官を含んだチーム開発となっていない点にある。このため、プロジェクトの継続性が無くなりノウハウが失われやすくせっかく築いたアドバンテージをすべて失ってしまっている。かつては、中部大、名古屋工大も教官を含んだ開発組織であったが、現在は研究のターゲットを RoboCup レスキューに移している。国内での電通大 YowAI チームの強さは、教官が本格的にバックアップする研究組織で継続的に開発されている唯一のチームであるということと無関係ではないだろう。

国際的に活躍しているチームはほぼ全て経済的にも人的にもまた研究面でも大学組織のバックアップを得ている。逆に言えばこれから新規参入する日本のチームでも、教官を含む徹底した開発体制で望めば大会勝利とともに、先進的な研究成果を十分得る事ができるチャンスがある。

5 ソフトコンピューティング

協調エージェント問題である RoboCup では、やはりソフトコンピューティング技術が多く応用されている。ファジィ推論、ニューラルネット、進化的制御、強化学習、自己組織化マップなどソフトコンピューティングのキーワードは一通り網羅されている。

5.1 協調の学習

特に、初期から最近まで学習アルゴリズムは研究課題の中心である。初期には、遺伝的アルゴリズムによって団子サッカーからフォーメーションサッカーに進化するチームが話題となった。ニューラルネットを基本行動の微調整に用いているチームは多い。進化的手法は、フォーメーションなど比較的探索空間が小さい問題で、試合時間内での適応を目指して使われている。パスやシュートができるかどうかの状態判定規則パラメータにおいて、最急降下法など数値的な学習は比較的成功している。学習以外では、サッカーフィールドにおける状態をあいまいにモデリングする意味で、2002年準優勝の Everest をはじめ、ファジィ推論を意志決定に用いているチームも多く、成功例が多い。

いっぽう高次の意志決定で進化的手法を用いて成功している例はあまり無い。強化学習は位置を量子化したマトリックスに切り、複数プレイヤーの位置関係を状態とした Q 学習の実験が良く行われているが、空間規模の大きさやシナリオ(報酬遅延)の本質的な長さが主原因となりあまり成功していない。

総じて意志決定や協調プレイなど高度な判断における学習は、RoboCup シミュレーションの限られた時間内で収束させる事ができず、成功していない例が多い。限られた時間とは1試合時間ということであり、リアルタイムに学習できないことはもちろんのこと、ログをオフラインで繰り返し使ったとしても、直接に抽出できる情報が少なく学習できないということである。実際のロボットや現場での AI 技術の多くと同じ状況であると言える。いっぽう人間はこの少ない試合時間内のデータから、情報を抽出して、学習適応できることが観測されている。このことは、得られるデータが少ないことが問題なのではなく旧来の学習手法の改善方向を暗示していると筆者は考える。

5.2 ヘテロジーニアスチームと人間チーム

ここではとくに人間行動との関係から、筆者が主宰するシミュレーションリーグチーム OZ (Open Zeng) と OZ-RP (OZ by Real Players) の2つの概略を述べる。詳細は他誌解説[4]に詳しい。

OZ[5]はヘテロジーニアスエージェントによる異種協調をテーマにしたチームで、1チーム11体のプレイヤープログラムを、すべて違う開発者が全く別個に設計、製作した異色のチームである。運営上実際には既に別のチームとして参加している開発者が集まりそれぞれのプレイヤープログラムにより一つのチームを構成している。このため、必然的に異種エージェントの混成チームとなっている。各プレイヤーは学習型であったり、固定動作であったり、進化型であったり、あるいはとりたてて能力が高くなかったりと様々であるが、チームとして揃ったときに個々のエージェントの特質がうまく相互作用することで予期せぬ好協調を見せたりしている[6]。現在は10を超える大学・研究機関に所属するさまざまな参加者からなる、緩いプロジェクトであり、結果的に全日本チームのような様相を呈している。異種エージェントの協調の様相の分析手法の提案などを行っている。

OZ-RP[7]は究極のヘテロジーニアスチームとしての、人間プレイヤーの協調を扱っている。これは、シミュレーションリーグにおいて人間が参加するためのシステムを構築し、人間が人工知能チームと正式なルールのもとで競技を行い、その行動記録をもとに人間の知的協調行動の分析を行う研究プロジェクトである。人間プレイヤーの使う操作端末にも、通信ノイズや、限られた情報など、コンピュータプレイヤーと同じ多くの制約を加え、こうした環境下でいかにして協調を行っているか実験している。これまで概念設計としての OZ-RP フレームワークを提案し、携帯ゲーム機や図5に示すような携帯情報端末(PDA)を用いた実装を行っている。実際に人間を含んだチームでの試合も行い、想像を超える短時間での協調の学習、相手チームへの適応などが観測されている[8]。

図5 OZ-RP 操作端末の一例 PDA タイプ

6 How To Join

シミュレーションリーグは、設備が安価で、過去の資産が多く、もっとも参加しやすいリーグである。このため同時に、競争相手も多く最も難しいリーグでもある。ここでは、本リーグに参加するためのコツをまとめておこう。

6.1 資産の活用

すでに強いチームのソースが配布されているので、できる限りこれらを手に入れて利用することが重要である。特にプログラムに自信のある大学院生らにはついゼロから作りたくなる傾向にあるが、ネットワークでのリアルタイム性、オブザーバモデルにおけるノイズ除去問題、基本的な行動の実装と調整など予想以上に作業量が多い。既にあるチームを元にした上で学術的興味のある部分などワンポイントで修正、追加することが、弱くないチームの作成の上で重要である。それでもなお、すでにあるものを利用できる技術力と有効な変更点を発見する見識が求められる。

基礎力の弱いチームではそもそも対戦実験があまり意味をなさないことに注意すべきである。

6.2 WWW を活用した情報の収集

シミュレーションリーグに関する情報を手に入れるにはネットワークが欠かせない。RoboCup 関係の情報やプログラムソースは、サッカーサーバを始めとして WWW 上でのみ手に入れられるものがほとんどである。またチーム開発は世界中で毎日進んでいるため、フォローアップするためにも WWW やメーリングリストの情報が重要である。本も出版されるが内容は限定的であり、しかも古い。

6.3 ツール類の整備

表示システムも、各チームが工夫を凝らして作成している。現在公式サーバで配布されているモニタも、ドイツの Khalshue Brain Stormers チームが開発したものである。この他にも、プレイヤーの情報を詳細に表示する開発/デバッグ向けのビューアシステムも複数公開されている。試合結果の統計的情報を分析する基礎ツールもある。途中で巻戻しができるものもある。これらを手に入れて使うことは、チームの開発効率において他のチームに追いつく上で重要である。使わずに同等の開発を望むのは不可能であろう。

6.4 環境整備

本リーグは計算機さえあれば開発と実験、研究が可

能だが、できれば良い環境を整えたい。すなわち専用の計算機数台と専用のスイッチングハブで区切られた、現在の価格ではごくわずかなコストで実現できるサッカー専用ネットワーク環境である。大学研究室のネットワーク上で試合を行うと、頻繁な UDP パケットロスになり試合にならないこともある。ネットワーク上の外乱に耐えることも研究上もとめられているものの、開発中は、専用のセグメントを設置する事がのぞましい。

6.5 開発組織

実際問題として、相当なプログラム開発経験者でなければ、昨今のリーグにチームを作って参加することは難しい。研究として扱う場合にも、チームを作成するならば、教官を含め少なくとも 3 人以上の担当者が必要であろう。

7 おわりに

RoboCup シミュレーションリーグは、最も参加しやすくかつ研究になりやすく、そして最も進歩している。いっぽうで残念ながら、最も地味なリーグという宿命を負っている。本稿は、シミュレーションリーグの概要を主にリーグのダイナミズムの視点で説明し、研究対象としての面白さを強調することを試みた。新規に参加してみようというチームが読者のなかから 1 組でも出てくれば試みは成功であったといえる。

シミュレーションリーグに限らず、学術面での成果および情報は、シュプリングの RoboCup シリーズ [9, 10, 11, 12, 13] を揃えれば十分であろう。このほか日本語で読めるシミュレーションリーグに詳しい書籍としては、松原らによる解説書 [14] や、やや内容が古くなりつつあるが Java サンプルの付いた入門書 [15] がある。

参 考 文 献

- [1] 鈴木隆志, 栗田英明, 竹内郁雄. Robocup シミュレーションエージェントの能力とワールドモデル. 情報処理学会ゲーム情報学研究報告, 2000-GI-2(27): 25-32, 2000.
- [2] 木下修平, 山本喜一. エージェントの戦略的プランニング機構. In 第 9 回インテリジェント・システム・シンポジウム講演論文集, pages 163-168, 1999.
- [3] 中山康二, 竹内郁雄. かけ声によるチームプレイの実現—robocup シミュレーションにおける協調動作の考察. 情報処理学会ゲーム情報学研究報告, 2001-GI-6(58): 27-34, 2001.
- [4] 西野順二. ドリームチーム oz と人間チーム oz-rp の挑戦. 日本ロボット学会誌, 20(1): 39-40, 2002.
- [5] 西野順二, 森下卓哉, 木下修平, 鈴木隆志, et al. シミュレーションドリームチーム oz の挑戦. In AI

- チャレンジ研究会第9回資料, pages 16-19. 人工知能学会, 2000.
- [6] 伊藤暢浩, 西野順二, 森下卓哉, 久保長徳. ヘテロジニアスチーム oz における協調的行動の分析. In 人工知能学会第12回 Sig-Challenge 研究会, pages 40-45, 2001.
- [7] 秋田純一, 西野順二, 久保長徳, 下羅弘樹, 藤埴到. 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. In AI チャレンジ研究会第12回資料, pages 23-28. 人工知能学会, 2001.
- [8] 島涼平, 西野順二, 本多中二. Oz-rp における協調行動の分析. 情報処理学会ゲーム情報学研究報告, 2002-GI-7(27) : 9-16, 3 2002.
- [9] A. Birk, S. Coradeschi, and S. Tadokoro, editors. *Robocup 2001 : Robot Soccer World Cup V*, volume 2377 of *LNAI*. Springer, 2002.
- [10] P. Stone, T. Balch, and G. Kraetzschmar, editors. *Robocup 2000 : Robot Soccer World Cup IV*, volume 2019 of *LNAI*. Springer, 2001.
- [11] M. Veloso, E. Pagello, and H. Kitano, editors. *RoboCup-99 : Robot Soccer World Cup III*, Springer, 2000. ISBN 3-540-41043-0.
- [12] M. Asada and H. Kitano, editors, *RoboCup-98 : Robot Soccer World Cup II*, Springer, 1999. ISBN 3-540-66320-7.
- [13] H. Kitano, editors, *RoboCup-97 : Robot Soccer World Cup I*, Springer, 1998. ISBN 3-540-64473-3.
- [14] 松原仁, 沼田寛, 竹内郁雄. ロボットの情報学—2050年ワールドカップ, 人間に勝つ!? NTT出版, 2001.
- [15] RoboCup 日本委員会, 高橋友一, 伊藤暢浩. *RoboCup* ではじめるエージェントプログラミング. 共立出版, 2001.

(2002年10月25日 受付)

[問い合わせ先]

〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘1-5-1

電気通信大学システム工学科

西野 順二

TEL : 0424-43-5578

FAX : 0424-43-5578

Email : nishino@se.uec.ac.jp

著者略歴

 にしの じゅんじ
 西野 順二

電気通信大学システム工学科助手. 1995年東京工業大学大学院システム科学専攻博士課程退学. 福井大学情報工学科助手, 同知能システム工学科助手を経て, 2001年より現職. 2002年人工知能学会研究奨励賞, 2000年, 2001年 RoboCup ジャパンオープン JSAI 賞受賞. RoboCup シミュレーションリーグチーム OZ/OZ-RP プロジェクト主宰. 知的システム, ファジィシステムおよび知的情報処理の研究に従事. 日本ファジィ学会, AAAI, 情報処理学会, 日本顔学会, 感性工学会各会員.