

# RoboCup-98報告— シミュレーション部門

高橋友一 中部大学経営情報学部

## ●はじめに●

1998年7月2日から9日まで、ワールドカップでにぎわうパリで第2回ロボットサッカー・ワールド大会RoboCup-98が開催された。会場は、パリ北東部にある科学・産業博物館の2階と3階に用意された。科学・産業博物館は、歴代のルノー車などの展示コーナー、技術進歩の紹介コーナー、各種科学実験の体験コーナーなどが用意された子供向けの大きな施設である(図-1)。

参加者はRoboCup-98用の特設ブースで試合の準備を行う(図-2)。博物館の入場者はブースや100席ほど用意された観客席でロボカップ関連の試合を自由に見学できた。また、館内の会議場ではRoboCupワークショップ(7月2, 3日)とInternational Conference on Multi Agents(7月4日から7日)が開催された。

RoboCupの主旨や目標については文献1), 2)を参考にしていただくとして、本稿では昨年名古屋で開催された第1回大会RoboCup-97<sup>3)</sup>終了から今大会までの1年間を、シミュレーション部門参加チームの立場から報告する。

## ●RoboCupシミュレーション部門●

### ■ゲームの概略

シミュレーション部門のサッカーゲームは、情報処理関係の研究対象として一変化する環境で決められた時間単位ごとに次の動作計画をする実時間処理、一部分しかも誤差を含んだ入力情報で処理する不完全情報処理、複数のエージェントが共通の目的にしたがって動作する協調処理、およびこれらを実現するプログラムアーキ

テクチャーなどの問題を提供する。ゲームは、電子技術総合研究所で開発されたサッカーサーバを利用して、対戦する2チームがネットワーク上に用意されたフィールドで以下の手順で行う<sup>4)</sup>。

- 各チーム11人のプレイヤーに対応するクライアントプログラムを用意し、サッカーサーバとUDP/IPで接続する。

- サッカーサーバと各クライアントプログラムは、決められたコマンドをやりとりしてゲームを進める。

具体的には、

1. プレイヤーに対応するクライアントプログラムは、サッカーサーバからまわりの状況をsee情報として受け取る。受け取ったsee情報は、プレイヤーの視覚情報に対応し、プレイヤーの向いている方向を中心とする視野内にいる他のプレイヤーやボールなどの相対位置情報( $\theta$ 度の向きに $r$ だけ離れた位置)を含む。ただし、データは誤差を含み、しかもchange\_viewコマンドのパラメータで設定する視野に応じて見える範囲が変化する、遠くのプレイヤーは敵・味方の区別がつかないなど不完全な情報になるように工夫がされている。

2. クライアントプログラムは、see情報からまわりの状況や自分の位置を計算し、ボールを見失ったときはボールを探す、シュートチャンスのはきはシュートするなどの行動を計画する。そして、対応するturn, dash, kickコ

★ クライアントプログラムはボールを追いかけ、キックするほかに、サッカーサーバ(レフリー)からのコマンド(free\_kick, corner\_kick, offsideなど)に従って動く機能が必要である。たとえば、corner\_kickに対して誰かがコーナに置かれたボールを蹴りに行くなど、レフリーからのコマンドに従った動きをするプレイヤーがいなるときは、人間のレフリーがドロップボールによりゲームを再開する。

★2 相手側サイドにいる攻撃プレイヤーと相手側ゴールラインとの間に、相手側プレイヤーが2名以上いないとき、そのプレイヤーはオフサイドの位置にいる。このとき、後ろの味方からパスを受けるとオフサイドの反則になる。防御するプレイヤーがセンターラインより動くことで、防御プレイヤーとゴールの間にいる敵の攻撃プレイヤーを意図的にオフサイドにさせることをオフサイドトラップという。

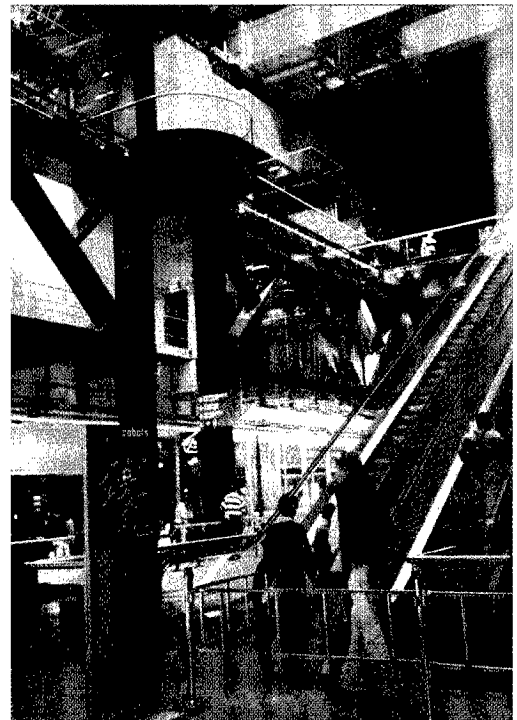


図-1 科学・産業博物館

マンドをサッカーサーバに送る。

3. サッカーサーバは、クライアントプログラムからのコマンドに基づき、プレイヤーの位置や蹴られたボールの動きを力学法則に従って計算する。

1, 2, 3をシミュレーション時間間隔でくり返すことによりゲームが進む。

そのほか、サッカーサーバはレフリーとしてスローインやコーナーキック、ゴールなどを判断する。クライアントプログラムは、サッカーサーバからのゲーム進行にかかわる情報をhear情報として聞き、レフリーの指示<sup>☆</sup>に従う。このほか、sayコマンドですべてのメンバにメッセージを伝えることができ、他のプレイヤーとの間で情報をやりとりできる。

サッカーモニタはサッカーサーバから送られるボールとプレイヤー全員の位置情報から、試合の状況を2次元で表示する。参加者は、サッカーモニタの表示で自分のアイデアを盛り込んだプログラム(チーム)と他のチームとの試合を観戦する(図-3は、右手にあるディスプレイに表示されている今年の決勝戦を観戦して一喜一憂している参加者たち)。

### RoboCup-98におけるルール改正

ゲームの進め方が人間のサッカーに近くなるように、サッカーサーバの機能は順次改良されている。サッカーサーバのバージョンアップとシミュレーション部門のルール改正は一体化している。

RoboCup-97からの1年間のサッカーサーバの主な改良点は、スタミナモデルの変更、ゴールキーパのボールキャッチコマンドとオフサイドの判定の導入である。

**スタミナモデルの変更:** 実際の試合と同様に、プレイヤーは動きまわるにつれ動きが鈍くなる。プレイヤーはあらかじめ決められたスタミナが最初に与えられる。dashコマンドで走るごとにその指定パワー分だけスタミナが減り、静止していると回復するスタミナモデルを持っている。このスタミナモデルがより人間の体力モデルを近似したモデルに変更された。モデルの変更と同時に、プレイヤーの向いている方向やスタミナ状態を知るsense\_bodyコマンドが追加された。

**ゴールキーパのボールキャッチコマンド:** 最初にゴールキーパとして接続したクライアントプログラムに対し、目の前のボールをキャッチできるcatchコマンドが新規に用意された。

**オフサイド:** オフサイドが導入された。



図-2 シミュレーション部門のブース



図-3 決勝戦を楽しむ参加者

RoboCup-97までは、相手チームのプレイヤーの位置に関係なく固定範囲で動くプレイヤー間で効率的なパスを行いゴールすることができた。オフサイドの導入により、ポジションを固定したプログラムがオフサイドトラップ<sup>☆2</sup>をするチームと対戦すると、キックするたびにオフサイドとなり試合にならなくなった。

RoboCup-97以降に開催されたジャパンオープンやヨーロッパ内の大会で上記のルール改正の問題点<sup>☆3</sup>が整理された。多くの参加チームは、5月から6月にかけてオフサイド機能の対策—オフサイドをチェックする、オフサイドトラップを利用する、オフサイドトラップにかからないなど—に追われた。

### 今大会の特徴について

RoboCup-98シミュレーション部門に参加したチームは12カ国34チームであった(表-1)。試合は、

☆3 人間のサッカーではオフサイドの位置にいるプレイヤーが試合に参加していないポーズをとっていい。この「参加していない」をどう実現するかが、一番問題になった。RoboCup-98では、オフサイドの位置にいるプレイヤーとボールの距離が9.5m以内になったときに、オフサイドとすることになった。

表-1 国別参加チーム数

国名	RoboCup-97	RoboCup-98
日本	14	7
イタリア	1	1
オランダ	0	3
スウェーデン	1	2
スペイン	1	0
ドイツ	1	8
ルーマニア	0	1
フィンランド	1	1
フランス	1	3
ベルギー	0	1
アメリカ	6	5
カナダ	1	1
オーストラリア	2	0
ブラジル	0	1
計	29	34

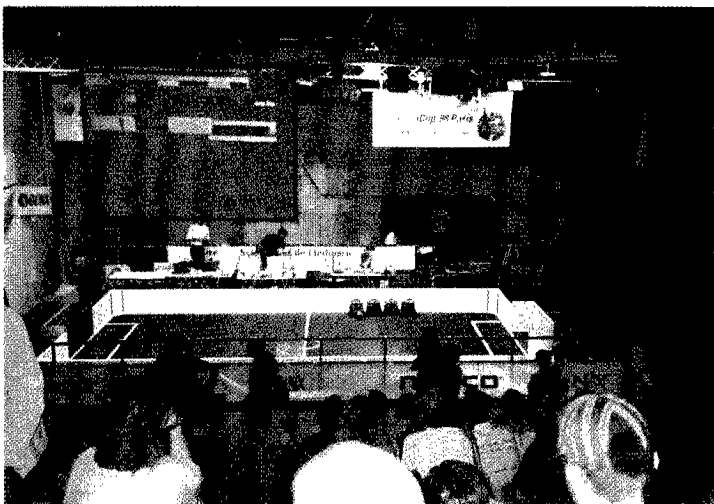


図-4 決勝戦の3Dビューワ表示

- 34チームを4または5チームで構成されるAからHまでの8リーグに分ける。
- 各リーグで総当たり戦を行う。勝利チームに3ポイント、引き分け時は両チームに1ポイントを与え、決勝トーナメントへ進む上位2チームを決める。
- 決勝トーナメントは敗者復活を考慮したトーナメント形式で行われた。

コンピュータはSun Microsystems社ワークステーションが30台ほど用意された。予選と決勝トーナメント前半の試合は、1チームあたり4台とサーバ用の1台の計9台を用い、2試合並列で行われた。決勝トーナメント準々決勝からは、1チームあたり6台のコンピュータを使用し、1試合ずつ行われた。試合に使用していないコンピュータは、次に試合を行うチームの調整用に割り当てられた。トラフィック状態を均一に保つために、ネットワークは試合用の2つと調整用の

1つの計3つのサブネットに物理的に分離し運営された。

決勝戦は、カーネギーメロン大学のCMU-nitedと昨年優勝のフンボルト大学のAT-Humbolt-98の間で行われた(図-4)。CMUnitedが勝ち、実機小型部門と2部門での優勝となった<sup>☆4</sup>。日本からはリモート参加<sup>☆5</sup>の1チームを含め、7チーム参加し、Andhill98(昨年準優勝したAndhillの改良版)がベスト8に残ったのが最高だった。

今回から、エージェント間の協調動作(チームプレイ)や年ごとに向上するチーム能力の評価(エバリエーション)が行われた。エバリエーションはAT-Humbolt97(RoboCup-97優勝チームAT-Humboltを今回のルール改正に合うように修正したチーム)に対して、11対11、11対10、11対9と参加チームのプレイヤー数を減らして対戦し、参加チームを評価する方法がとられた。次回までに、単に得失点差だけの評価でなく、エバリエーションのログファイル<sup>☆6</sup>をもとにプレイヤー数が少ないハンディ状況での動き(ロバスト性の評価)や少なくなった分をどこまで残りのプレイヤーがカバーしているか(チームワークの評価)などの観点からの新しい研究が期待されている。

#### 参加チームの特徴、ワークショップの発表から

RoboCupは勝ち負けだけではなく、複数の研究テーマのランドマークとしての位置付けがある。そのため参加チームには、ワークショップでの発表や技術・研究面からのチーム紹介が要求されている<sup>5)</sup>。

2日間行われたワークショップでは、個々のプレイヤーのスキルの学習や複数のプレイヤーによるチームプレイの学習、学習支援システム、モニタの3Dビューワや実況中継システム<sup>6)</sup>、RoboCupを教材として使用した報告など多岐にわたるシミュレーション部門関連の発表があった。

参加チームの特徴としては、ルール改正もあり、ポジション固定から状況に応じてポジションを変えながら攻めるチームが多くなった。そして、キック・アンド・ダッシュの単純な攻撃ではなく、状況に応じてドリブル<sup>☆7</sup>したり味方にパスするなどマルチエージェント問題としても、動的プランニング問題としても、着実に進歩している。

多くのチームが、実現する機能に応じた階層構造のプログラム構成をとっていた。図-5は、優

☆4 <http://www.robocup.org/>に各試合結果が載っている。

☆5 実行形式のファイルと起動用のスクリプトファイルを所定のサイトにあらかじめftpで送り、会場で運営委員が起動する参加方法。

☆6 ログファイルは、試合中にサッカーサーバからサッカーモニタに送られたデータを保存したファイル。

☆7 dribbleコマンドはないので、ドリブルはdashコマンドとkickコマンドを組み合わせて実現する。

勝したCMUnitedチームのチーム紹介のポスタである。CMUnitedチームも、階層構造のプログラム構成をとり、上位の階層で強化学習を用いて複数プレイヤー間のチームプレーの実現を図った。そして、下位の階層で敵と反対側にボールをキープしてドリブルするプレイ<sup>※8</sup>を実現している。このドリブルプレイは初登場で効果があった。そのため、多くの参加者がこのプレイを自分のチームでも実現するように会場でプログラムの修正を試みた。

このように人間が学習した結果を実装する方法を用いたものに、RoboCup-97のログファイルを人手で解析・分類した状態空間を学習対象とし状態遷移のルールを学習させたチームがいた。一方、ログファイルからパスやシュートなどのプレイを自動解析し、その結果をもとにプレイヤーを改良したチームがあった。これらログファイルを利用する方向は、エバリエーションの方法とともに今後さらに検討されると思う。

オンライン学習に関しては、昨年は準優勝したAndhillの1チームだけだったが、今年は複数のチームが行った。自チームの情報だけではなく、相手チームの情報も、学習の入力データとするチームがあった。その結果、前半は負けていたが後半はよい勝負になった試合が練習試合にみられた。遺伝的プログラミングを用いたチームは、昨年と同じく1チームあった。

### ●まとめと今後の予定●

1996年に開催されたPreRoboCupから2年近く経ち、研究対象としてRoboCupに興味を持つ人、参加する人も増えてきている。今回は地理的な条件からヨーロッパからの参加チームが多く、その多くが上位に進出した。その理由として以下の点があげられる。

- サッカーが盛んな地域だけに、協調問題としての取り上げのほか、パスでボールをできるだけつなごうとするプレイ自体に思い入れがある。
- フンボルト大学やMainz大学（ドイツ）、Linköping大学（スウェーデン）<sup>7)</sup>など、RoboCupを演習の課題として取り上げた大学が多くあった。その中で優秀なプログラム（強いチーム？）を選抜している。

日本からの参加は、当初新規参入チームが予定されていたが、結局RoboCup-97から参加しているチームだけであった。

最後に、日本からの参加者が増えること期待し、シミュレーション部門の実行環境の紹介と

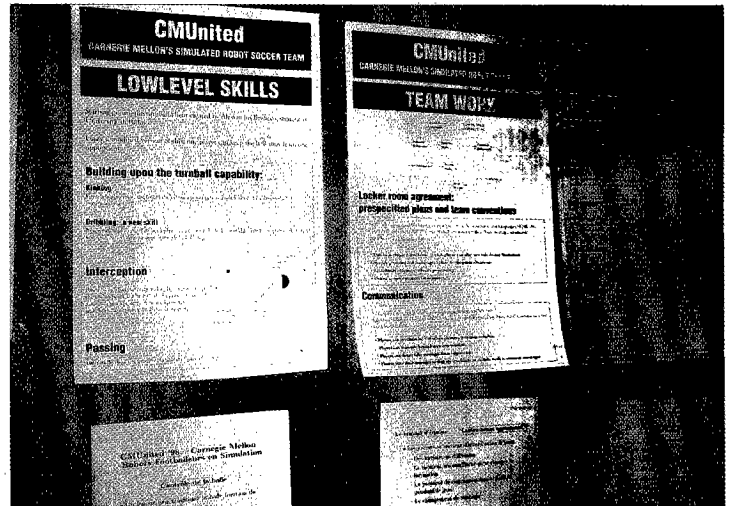


図-5 CMUnitedのポスタ

RoboCup関連の行事予定を以下に示す。

- ソフトウェア環境：WWWホームページ (<http://ci.etl.go.jp/~noda/soccer/server/>) から関連のファイルをダウンロードする。そこには、マニュアル、サッカーサーバ・ソースファイル、クライアント・サンプルプログラム、サッカーモニタ、ログプレイヤー<sup>※9</sup>などが用意されている。過去のRoboCupの優勝・準優勝チームのソースファイルや試合のログファイルも公開されている。
- ハードウェア環境：Xウィンドウ環境が準備できるコンピュータであればよい。したがって、SUN SPARC Station1 (Solaris) またはノートパソコン (Linux) で問題なく動く。ただし、実際の試合で使用されるコンピュータと性能差があると、学習した効果が試合で発揮できない場合がある。
- 1999年の行事としては、春に名古屋でジャパンオープンが、7月にストックホルムでIJCAL-99との関連開催としてRoboCup-99が予定されている。

#### 参考文献

- 1) 北野, 浅田: “ワールドカップ” ロボットの挑戦, 日経サイエンス, 8月号, pp.74 - 82 (1998).
- 2) Kitano, H. ed.: RoboCup97 Robot Soccer World Cup I, Lecture Notes in Artificial Intelligence, Vol.1395, Springer-Verlag (1998).
- 3) 松原ほか: RoboCup97 報告, 情報処理, Vol.38, No.12, pp.1077-1082 (Dec. 1997).
- 4) 野田, 國吉: シミュレーション部門と Soccer Server, bit, Vol.28, No.5, pp.28-34 (1996).
- 5) Proceedings of the Second RoboCup WorkShop (July 1998).
- 6) 田中, 神成: RoboCup-98報告—シミュレーションリーグにおける3次元表示と自動実況システム, 情報処理, Vol.39, No.10, pp.1006-1009 (Oct. 1998).
- 7) Coradeschi, S. and Malec, J.: AIプログラミング・コースにおけるRoboCupサッカー・シミュレーションの利用, 日本ロボット学会誌, Vol.16, No.4, pp.456-458 (1998). (平成10年8月7日受付)

<sup>※8</sup> ポスタに「このプレイの出発点は前回のイタリアパドヴァ大学チームの華麗なボールまわしである」と明記されていた。

<sup>※9</sup> ログプレイヤーは、ログファイルから試合状況を再現する。