

## OZ-RPにおける協調行動の分析

島涼平 西野順二 本多中二

電気通信大学 システム工学科

RoboCup サッカーシミュレーションにおいてOZ-RPと名付けた人間参戦システムを実現し、チャンピオンレベルのチームと人間の試合を行った。システム構成に当たっての課題と解決方法について述べ、試合結果とデータログのマクロな分析結果を示す。平均位置座標をプレイヤーのポジションとみて、その学習が試合回数が進むにつれて進むことを示した。標準偏差をプレイヤーの運動量と考え、隣接するプレイヤーとの役割分担と協調関係の変化から、人間プレイヤーの旺盛な学習能力を示した。

Human cooperative behavior on OZ-RP log data

Ryohei Shima, Junji Nishino, Nakaji Honda

Dept. of Systems engineering

The University of Electro-Communications

The OZ-RP system, which is a human player user inter-face for RoboCup soccer simulation system is proposed and realized in this paper. Several test games against former world champion team have been done with the OZ-RP system. We discuss on some constraints for feasible system, and solve them. As a result of games with OZ-RP, we show that a mean position indicates formation and its time variant indicates human learning activity. Standard deviation of position indicates player's toughness and their relationship also indicates learning ability of a human player.

### 1 はじめに

OZ-RP[1, 2, 3]は、人工プレイヤーどうしでおこなわれるRoboCupサッカーシミュレーションリーグ[4, 5, 6, 7]の試合に、人間が参加するためのシステムを構築するプロジェクトである。このプロジェクトで作成した携帯ゲーム機型参戦システムOZRPWWSと、XウィンドウベースシステムOZipを用いて実際に試合を行った結果が得られている。この結果の統計的処理を通じて、人間の協調行動に関する分析の指針を示すことが本論文の目的である。

RoboCupは2050年までに、人工知能ロボットのサッカーチームが人間のチャンピオンチー

ムを破ることを目標に掲げた、協調システム研究の標準問題である。シミュレーションや実機を用いて、サッカーのルールに基づき複数の人工プレイヤーが同じフィールドで競技を行う。サッカーはボールをゴールに運ぶという、簡潔な目的を持ったゲームであり、11プレイヤー2チーム、合計22人で行う分散協調ゲームである。対戦の中でより有利にゲームを進めるためには、個々のプレイヤーがリアルタイム制約下で、ノイズを含んだ環境にたいして適切に働きかける必要がある。また、他と比べてより効果的な協調的行動をとれるチームが、必然的に強いチームとなる。

RoboCup は、1997 年から国際大会や各国、各地方での大会が行われており、2001 年現在までさまざまな発展を遂げている。特に、シミュレーションリーグは、ノイズ処理や基本的な行動制御は完成に近付きつつあり、戦略的行動の洗練が進んでいる現状にある。このような環境の中で最終目標である、人間と人工システムの対戦を、シミュレーションリーグにおいて実現するものとして OZ-RP システムを提案した。

本研究では、世界大会のデモンストレーションとして行われた複数の試合の結果を中心に数量的に分析し、人間の行動の特徴や、その協調のあり方に付いての知見を得ることを目指す。

## 2 OZ-PR システムの構築

人間参戦システム OZ-RP は、現在までに携帯ゲーム機を用いたシステムと、X ウィンドウベースで稼働するシステムが実装されている。ここではシステムの構築全般について述べる。

### 2.1 RoboCup シミュレーション

RoboCup サッカーシミュレーションリーグは、11 対 11 の人工知能プレイヤーによるシミュレーションサッカーである。競技場をシミュレートするサッカーサーバに、22 のクライアントプレイヤープログラムが UDP/IP で接続し、個別にセンサ情報を受け取り、行動を送る。ロボットサッカーのセンサとアクチュエータが用意された状態で、行動規則だけを研究する場面をモデルにしていると考えることができる。リアリティのある制約として、センサノイズの付加、リアルタイム通信制約、ネットワークラフティクによるパケットロス、などを故意に組み込んでいる。各プレイヤーは、実ロボットの構築時と同様な悪環境に置かれていることになり、センサ情報補完、通信同期、時間制約下意志決定などの技術の開発と利用が必須の課題となっている。

シミュレーションリーグは、これらのノイズ混入やパケットロスがあるとしても、故障やバッテリー切れなどハードウェアにありがちな研究進展の阻害要因から離れ、行動アルゴリズム

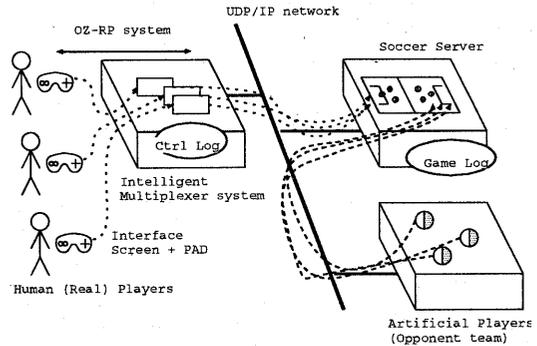


図 1: 人間参戦システムのコンセプト

に注力できるという特徴がある。このため、RoboCup の幾つかの部門の中ではもっとも進んでおり、現在では、上位チームの試合では人間の試合さながらの高度な戦術の応酬をみることが出来る。

またこの進歩は、参加チームの論文発表とプログラムの公開が義務づけられているため、既存の技術を効率良く再利用できるシミュレーションリーグの枠組にも強く依存している。

### 2.2 OZ-RP プロジェクト

OZ-RP (OZ by Real Players) は、シミュレーションリーグの正規チームとして人間 11 人が参加することを旨としたシステムとチーム開発を行う研究プロジェクトである。

その母体となった OZ (Open Zeng) は、ヘテロジーニアスな協調を目指した、公募型のシミュレーションチームである。チームの 11 体のプレイヤープログラムを全て異なる開発者/グループが作成している。このため、原理の異なるプレイヤー同士の合同チームとなって、ヘテロジーニアスなシミュレーションサッカーチームとなっている。

OZ-RP は、この異種協調の OZ の考え方を人間にまで広げたものである。図 1 に示すようなフレームワークとなっている。単なる娯楽のための人間参戦チームではなく、究極のヘテロジーニアスチームとして人間チームをとらえ、その協調のありようについて記録と分析を行





図 3: OZRPWWS と OZip

担うことにし、人間と機械の得意な部分を効率良く組み合わせることを目指す。

## 2.5 OZ-RP システムの実装

OZ-RP システムの実装のうち現在利用しているのは OZip と OZRPWWS の二つである。

OZip (OZ Interactive Player) は、X ウィンドウベースのユーザインタフェースシステムである。高性能なプレイヤープログラムを元に行っているため、ボールキープ能力や、情報収集に長けている。

OZRPWWS は、携帯ゲーム機のワンダースワンとその開発環境であるワンダーウィッチを用いてユーザインタフェースを構成したシステムである。現在は、アシストシステムコアとして、OZip を用いており、実質的には OZip を専用の情報画面で操作していることになる。接続した様子を図 3 に示す。

情報共有排除制約より、一つの画面を複数人で共有することは望ましくない。プレイヤー 11 人分の表示装置を試合会場で準備することは、経済的、労力的にも困難な仕事である。携帯ゲーム機は、安価であり、また事実上小型の表示デバイスと入力デバイスを兼ね備えた装置である。ディスプレイの状態を図 4 に示す。

OZRPWWS の利用時には、シリアルケーブルを用いてサッカーサーバと接続可能なネットワークに接続されたホストを必要とする。ホス



図 4: 携帯ゲーム機インターフェース

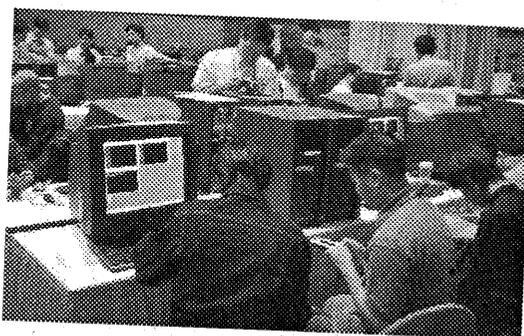


図 5: OZRPWWS を用いた試合参戦

ト本体で、通信部とアシスト部を持った OZRPWWS 用 OZip-ws を起動する。携帯ゲーム機も起動し、入力はゲーム機から OZip-ws へ、出力情報は OZip-ws からワンダースワンに送られ、表示となる。ホストコンピュータ 1 台につき、複数のシリアル端子があれば、複数の OZRPWWS を接続できる。図 5 は、4 台のホストにそれぞれ 2 機ずつの端末を接続し、合計 8 名で試合に参加している。

## 2.6 OZ-RP の対戦履歴

OZ-RP は 2001 年 1 月より活動を開始し、次の一覧に示すような公式試合への参戦とイベントでのデモンストレーションを行った。それぞれの結果については、表 2, 3, 4, 5 にまとめる。

- 2001.4 RoboCup Japan Open 2001 in 福岡 (試合とエキシビジョン)

表 1: 対 FCPortugal2000 戦 1~4 標準偏差

背番号	試合 1		試合 2		試合 3		試合 4	
	$s_x$	$s_y$	$s_x$	$s_y$	$s_x$	$s_y$	$s_x$	$s_y$
1	4.8	6.5	4.9	6.0	5.1	5.8	4.8	6.3
2	8.3	9.3	8.0	9.2	7.6	8.7	7.2	9.3
3	6.9	10.4	6.7	10.0	6.9	10.0	6.1	9.8
4	8.1	9.5	8.0	9.2	7.5	9.2	7.0	8.7
5	8.7	8.5	8.5	8.0	8.5	7.7	8.3	8.4
6	9.7	8.7	9.1	7.9	8.6	9.9	8.7	8.2
7	10.8	15.3	13.1	16.4	13.1	14.9	9.4	10.1
8	13.0	15.0	11.5	13.5	14.9	13.6	10.8	17.1
9	9.7	11.6	17.8	15.7	13.9	12.9	9.5	17.0
10	11.9	11.8	6.8	6.0	12.7	13.6	17.4	8.5
11	6.4	7.8	5.3	7.6	6.7	7.0	10.8	6.3
ball	16.5	20.0	16.6	19.4	18.8	18.9	15.5	18.9

- 2001.6 German Open 2001 (デモ招待: リモート)
- 2001.8 RoboCup 2001 in Seattle (デモ招待)
- 2001.8 AIST techno-KIDS (デモ)
- 2001.10 RoboCup 秋キャンプ 2001 in 調布 (デモ)

## 2.7 OZRPWWS の仕様

携帯ゲーム機をもちいた、OZRPWWS 端末は、OZip へのインタフェースである。OZip は次の機能を提供する。

- 自動情報収集と補完表示  
指令の無い空き時間には、首および身体を回転させ、周囲の最新センサ情報を自動的に収集再構成する。再構成されたフィールド情報は俯瞰図として表示される。ユーザはフィールド全体を見ている感覚で考えることができる。
- ハイレベルコマンド受け付け  
入力可能なコマンドは以下の 3 つである。
  1. 指定位置への移動
  2. ボールキャッチアップ+キープ

## 3. 指定位置へのシュート

位置の指定には、別途十字ボタンで移動するカーソルを用いる。

## 3 ログの統計的分析

### 3.1 サッカーサーバログとその形式

サッカーサーバは、試合でのプレイヤーの運動情報などを忠実に保存する機能を持つ。本研究ではこのうち、プレイヤーおよびボールの位置情報を使用した。サーバログの形式は、 $(t, x_1, y_1, \dots, x_{22}, y_{22}, x_{ball}, y_{ball})$  の 47 次元のベクトルで表現できる。時刻  $t$  は 0 から 6000 の範囲で、単位はシミュレーションステップである。

### 3.2 デモ試合の分析

本論文では 2001 年シアトル大会でのデモンストラレーションゲームの中から、同じ相手に複数の試合を連続して行った、対 FCPortugal2000 戦をとりあげる。FCPortugal2000 は、2000 年メルボルン大会の優勝チームで、強力なパス回しにもとづいたチーム戦術を用いる強豪である。およそ 20 分おきに、4 試合行った。

デモンストレーションの都合により、人間メンバーが部分的に入れ替わっているが、全体として統制のとれた実験となっている。試合の結果を表4に示す。

位置座標の平均は、おおよそ各プレイヤーの受け持ちポジションを表すことになる。4試合分の平均位置を図6, 7, 8, 9に示す。また、標準偏差を表1にまとめて示す。

## 4 行動の分析

シアトル大会でのデモンストレーションで、FCPortugal2000 に対する4試合は、同じ相手に対し連続して試合を行った結果である。試合全体をログ再生して観察すると、人間プレイヤーが非常に素早く学習していく様子がうかがえる。このような観察と統計量に基づいて得られた知見について述べる。

各試合で、人間プレイヤーは5名ずつ参加している。プレイヤー1番のキーパと、2,3,4番のディフェンダー、5,6番のディフェンシブハーフまでの6プレイヤーは、毎回同じ人工プレイヤーである。

### 4.1 ポジションと協調

プレイヤー位置座標の平均を図6, 7, 8, 9に示す。これから、各ゲームでの実質的なプレイヤーポジションがわかる。なお、一部、背番号が変わっているプレイヤーがある。このような変動が発生するのは、サッカーサーバの仕様で、接続順に番号が割り振られるためである。

ここで、試合1,2,4での9番で、試合3では10番になっているプレイヤーに注目すると、試合中フォワードの役割をしていることが分かる。試合が進むにつれて、他のメンバーも、このフォワードの働きを理解し、徐々に役割分担ができて、互いにサポートしあっていくことがポジションから分かる。フォワード自体もその分、相手側へ広がっている。

また同様なことは、チーム全体の配置の大きさが変わっていくことから分かる。はじめはディフェンス重視で自陣後方に集まっているが、試合が進むにつれ徐々に互いのポジションを理

解して、より効率の良い位置に移動して広がっていることが分かる。

試合中は、声を出してのコミュニケーションをとらないようにしている。その上でプレイヤーがこのようなポジションに移動したことは、互いに動作を観察しながら意図を理解していく、ボディランゲージ的なコミュニケーションが進んだことを示していると考えられる。

### 4.2 偏差と運動量

各プレイヤーの4試合の標準偏差を、表1に示した。ほとんどのプレイヤーで、y軸方向の標準偏差の方が、x軸の標準偏差より大きくなっている。強い人工プレイヤーどうしの試合の多くでは、ゴールとゴールを結ぶx軸方向の分散が大きくなる。これはサッカーの基本的な動きが、ゴールを目指す動きだからである。しかし、今回の4試合ではx軸の標準偏差は小さかった。これは対戦相手のFCPortugal2000が強かったため、終始押された試合となって、ゴール方向に展開できなかったからだと考えられる。

その中で、徐々に偏差が変化していく様子が分かる。2~6番の人工プレイヤーの偏差は試合が変わってもほぼ一定である。いっぽう7から11番までのプレイヤーの偏差は、試合ごとに変化しており、実際の動作を見ると互いの補完をしていることが分かる。

### 4.3 得点の推移と学習

表3に見るように、ジャパンオープンのエキシビジョンでも、インタフェースへの習熟過程が点数として現れている。個々の要因については明らかでないものの、人間プレイヤーの学習能力を示している。また、予選レベルのチーム(対NohohonG2, モンジロー組)に対しては、その弱点を素早く見抜き大量得点を上げていることも、高い学習能力を示している。

## 5 まとめ

11人という多人数によるサッカーへの人間参戦システムについて、人間の協調行動を知る

表 2: JapanOpen 2001 の公式予選の結果

相手チーム	失点 - 得点	対戦相手強さ順
		o 相手チームの 最終ランク
FC Tripletta	9- 0	2
11Monkeys3	5- 0	5
Zeng01	1- 0	9
JINN	1- 1	9
Nohohon G2	0- 13	r
Team MONJIRO	0- 26	r

表 3: JapanOpen 2001 エキシビジョンでの結果

相手チーム	失点 - 得点	時刻順
		相手チームの 最終ランク (強さ)
Harmony	5-0	3
RaiC	5-0	9
TakAI	2-0	予選まで
Gemini	2-0	4

ために RoboCup へのフェアな参加を行う、という目標のもとシステムへの要件を洗い出し、OZ-RP システムの提案、実装、実現を行った。RoboCup のような競争的な協調問題環境下において、こうした多人数での被験者による実験はほとんど他に例をみない。互いにカバーしあう様子など貴重な結果が得られた。

この人間参戦システムを用いて、2000 年度優勝チームである FCPortugal2000 と連続した試合を行いシミュレーションサッカーログとして収集した。これに数値的な分析を行い、ポジションと運動量をあらかず平均位置と標準偏差を算出した。試合進行に伴ってポジション位置や、運動量のプレイヤー間の関係が変化していく過程を見ることができた。これは、人間プレイヤーがポジションや行動範囲を周囲のプレイヤーとの関係で学習してゆくことを示している。

試合の状態について基本的な統計量で分析を試みたが、試合そのものの再生の肉眼による観

察では、より詳細な協調行動の様子が感じられる。今後、これら人間の直観的な協調行動抽出のための統計量の発見や定式化などが課題である。また、人間の協調行動を知的システムの協調行動規則に反映させるための方法論も今だ明らかとはなっていない。データマイニングの手法などを応用し、行動記録の知識化と再利用も大きな課題である。

## 参考文献

- [1] 秋田純一, 西野順二, 久保長徳, 下羅弘樹, and 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.
- [2] 西野順二, 久保長徳, 秋田純一, and 下羅弘樹. Oz-rp システムを用いたバーチャルサッカーでの人間協調行動の観測. In *第 11 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 149–152, 2001.
- [3] 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 紹介*, 20(1):39–40, 2002.
- [4] H. Kitano, editor. *RoboCup-97: Robot Soccer World Cup I*. Springer, 1998. ISBN 3-540-64473-3.
- [5] M. Asada and H. Kitano, editors. *RoboCup-98: Robot Soccer World Cup II*. Springer, 1999. ISBN 3-540-66320-7.
- [6] M. Veloso, E. Pagello, and H. Kitano, editors. *Robocup-99: Robot Soccer World Cup III*. Springer, 2000. ISBN 3-540-41043-0.
- [7] P. Stone, T. Balch, and G. Kraetzschmar, editors. *Robocup 2000 : Robot Soccer World Cup IV*, volume 2019 of *LNAI*. Springer, 2001.

表 4: シアトル大会デモの結果

時刻順		
相手チーム	失点 - 得点	
Zeng01	4-0	
FCPortugal2000	5-0	試合 1
FCPortugal2000	7-0	試合 2
FCPortugal2000	14-0	試合 3
FCPortugal2000	7-0	試合 4
Zeng01	2-0	

時刻順		
相手チーム	失点 - 得点	
Lazarus	1-0	
WrightEagle2001	8-0	
Lazarus	2-0	
DirtyDozen	0-2	
MRB	9-0	

表 5: RoboCup 秋キャンプ 2001 デモ

時刻順		
相手チーム	失点 - 得点	
ikuei	0 - 8	
SamurAI	0 - 2	

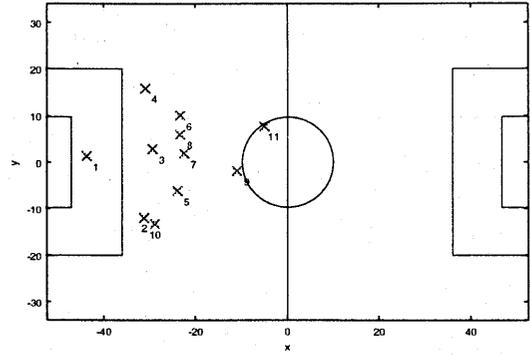


図 7: 対 FCPortugal2000 試合 2 平均位置座標

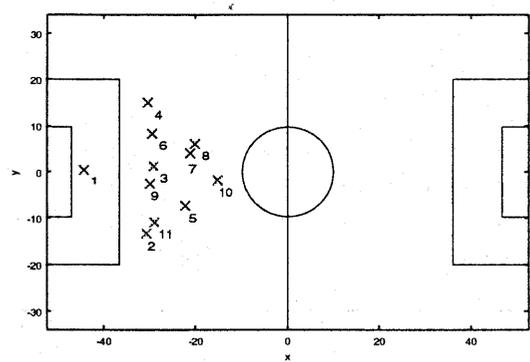


図 8: 対 FCPortugal2000 試合 3 平均位置座標

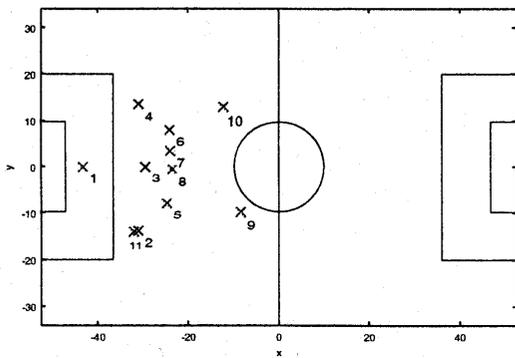


図 6: 対 FCPortugal2000 試合 1 平均位置座標

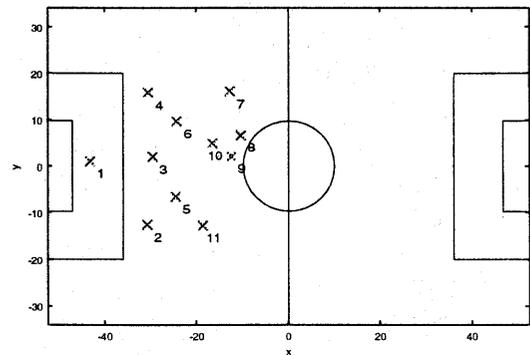


図 9: 対 FCPortugal2000 試合 4 平均位置座標